

Performance réelle des PAC : retour d'expérience

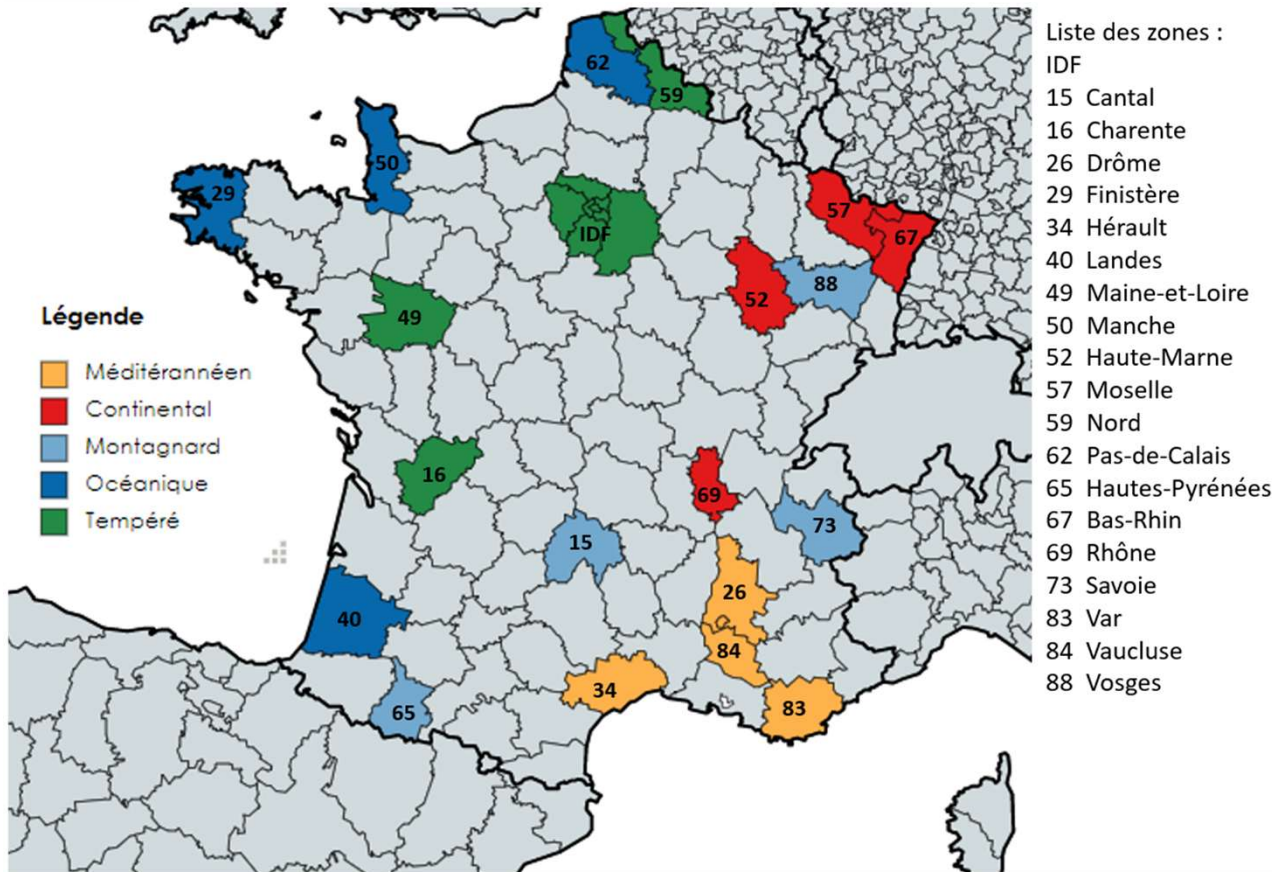
Sauvons le climat / Uwe BRAMKAMP, le 14 octobre 2026



- La mission de l'ADEME
- L'échantillon de mesure
- L'enseignements et performances
 - du SCOP : CH, ECS, PAC RO et PAC OO
 - de la performance déclarée versus la mesure
- Les défauts rencontrés : la loi d'eau, défauts de pilotage / régulation, le cyclage, les veilles et la bouteille de découplage
- L'enseignements des projets PAC du Fraunhofer Institut Allemagne

mission

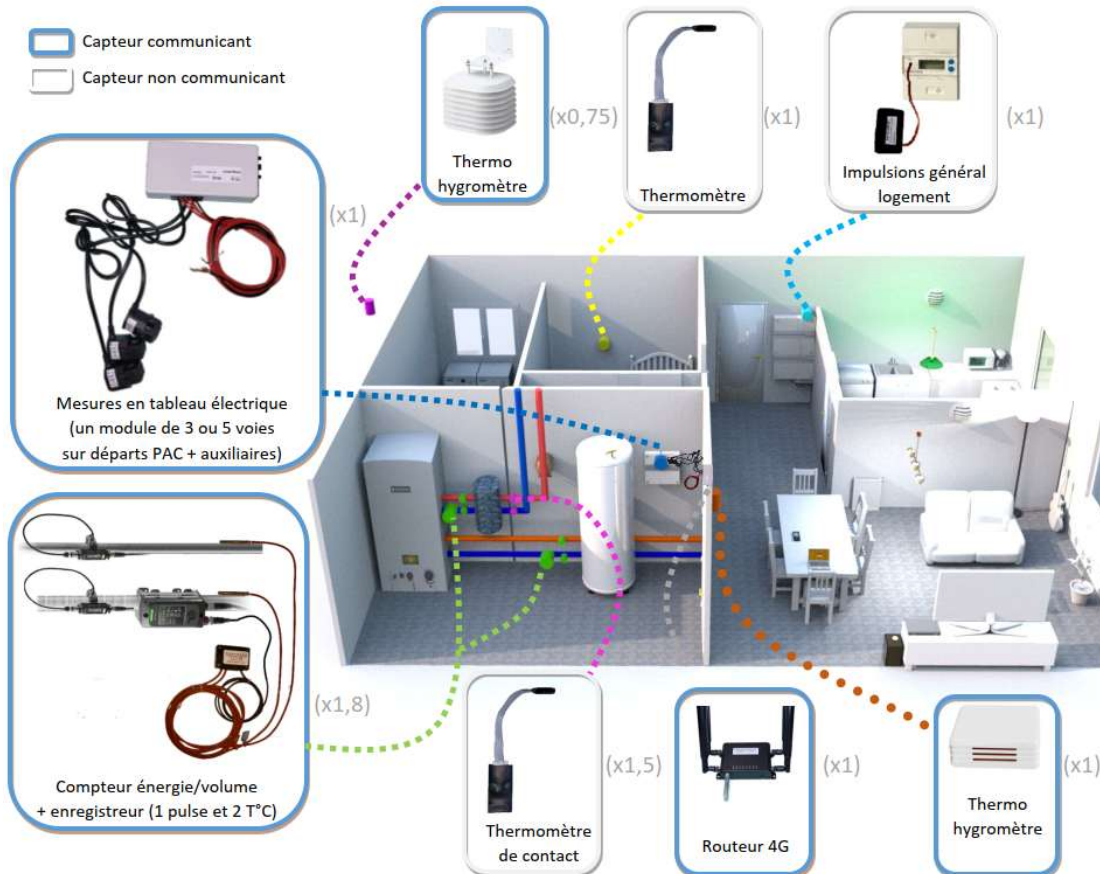
- Instrumentation de 100 logements individuels ayant fait l'objet d'une subvention lors d'un remplacement de chaudière fioul ou gaz par une PAC air/eau (90x) ou eau/eau (10x) sans appoint externe à la PAC, que celui intégré dans la PAC (épingle électrique)
- Objectifs, déterminer :
 - les principaux facteurs de la performance réelle d'une PAC
 - les éventuels écarts entre la consommation prévisionnelle et réelle



mesures : installation

- 5 mois d'instrumentation entre septembre 2023 et janvier 2025, soit 88% des mesures réalisées en 2024
- 20 départements à 5 PAC
- 5 climats européens
- -4 à -19°C pour les températures de base

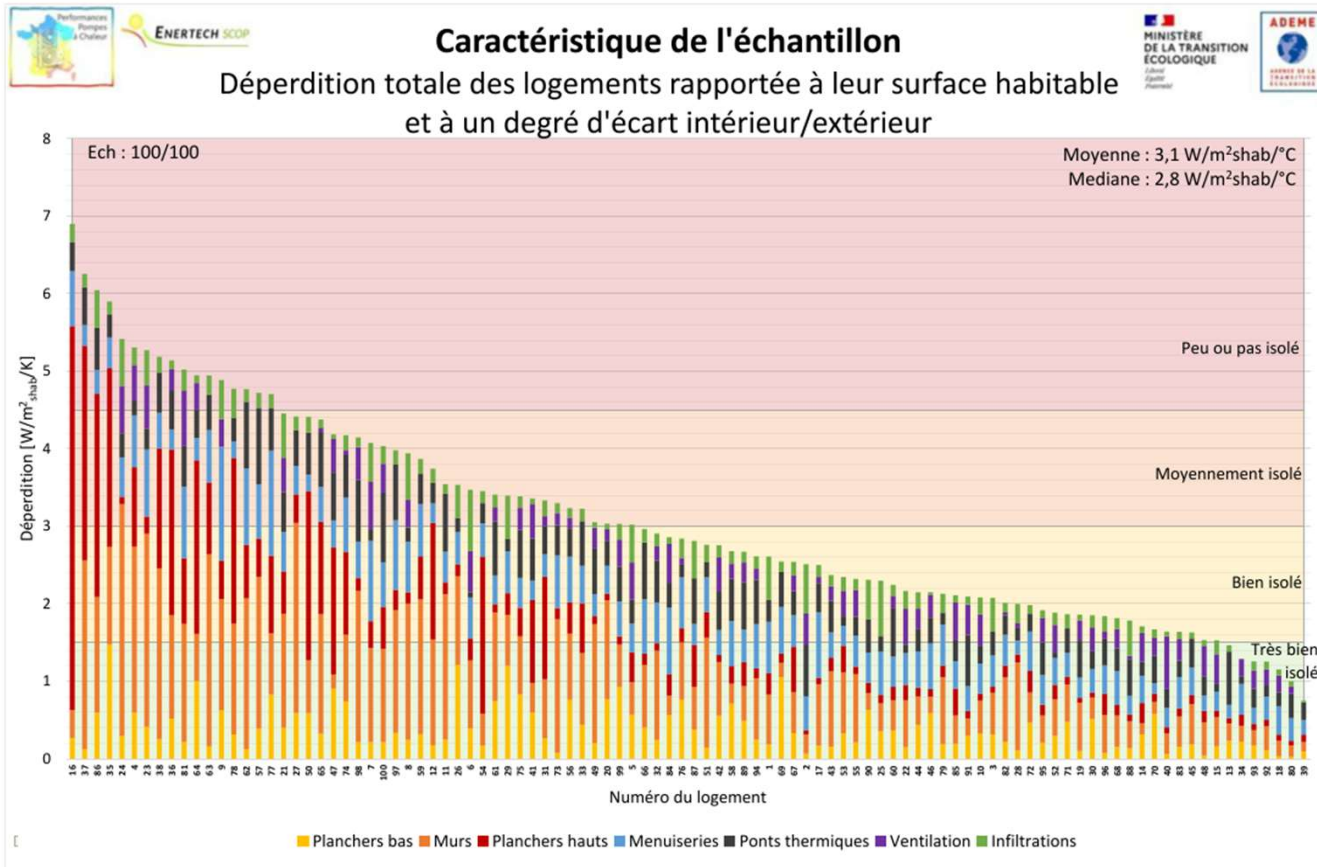
Capteur communicant
Capteur non communicant



mesures : capteurs

- 2 compteurs thermiques: puissance chauffage et ECS
- 3 compteurs électriques: puissance absorbée PAC, épingle électrique PAC + consommation total logement
- 4 capteurs de températures sur circuits hydrauliques: avant la bouteille de découplage CH et circuit primaire ECS
- 2 capteurs de température ambiante / humidité en air extérieure et air intérieure
- 2 capteurs de température départ / retour CH en secondaire, si bouteille de découplage (75% des cas)

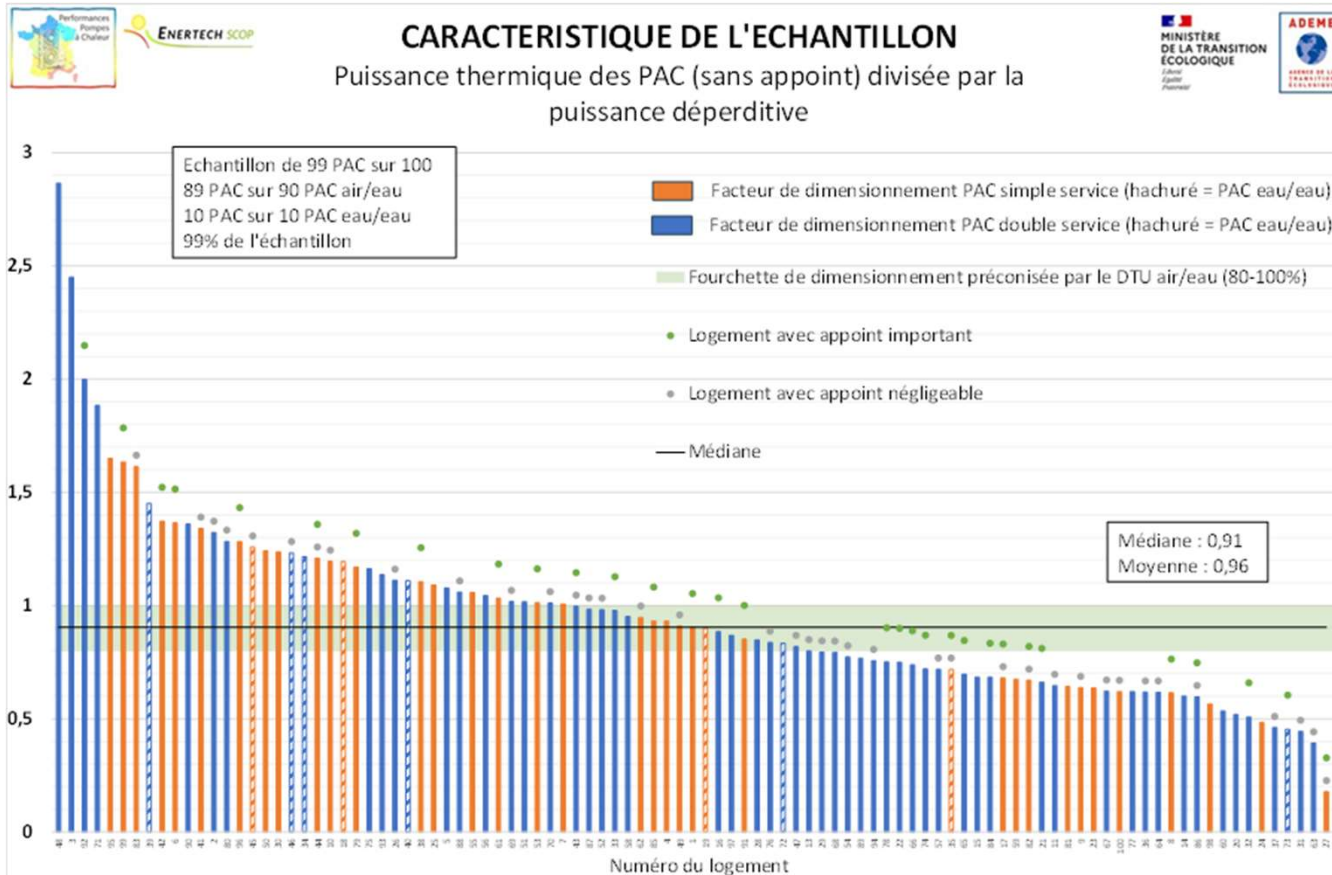
mesures : déperditions



bonne représentativité de
l'échantillon :

- 16% de logements peu ou pas isolés
- 29% de logements moyennement isolés
- 47% de logements bien isolés
- 8% de logements très bien isolés.

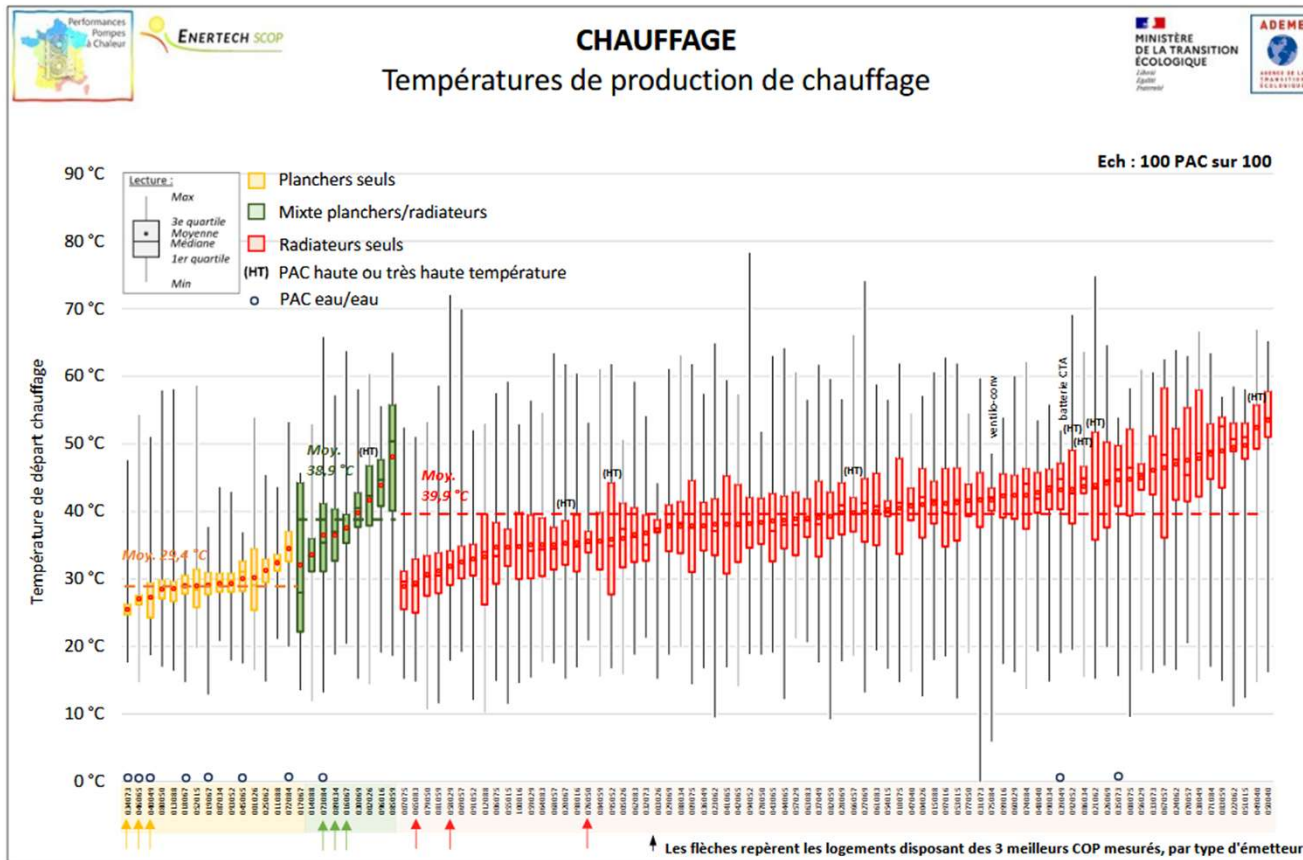
mesures : puissance chauffage



rapport entre puissance installée et déperdition du logement :

- sous dimensionnement en DTU 65.16: 80 à 100% de déperdition
- sur dimensionnement suivant l'Afpac: 60 à 80% de déperdition

mesures : température du départ CH



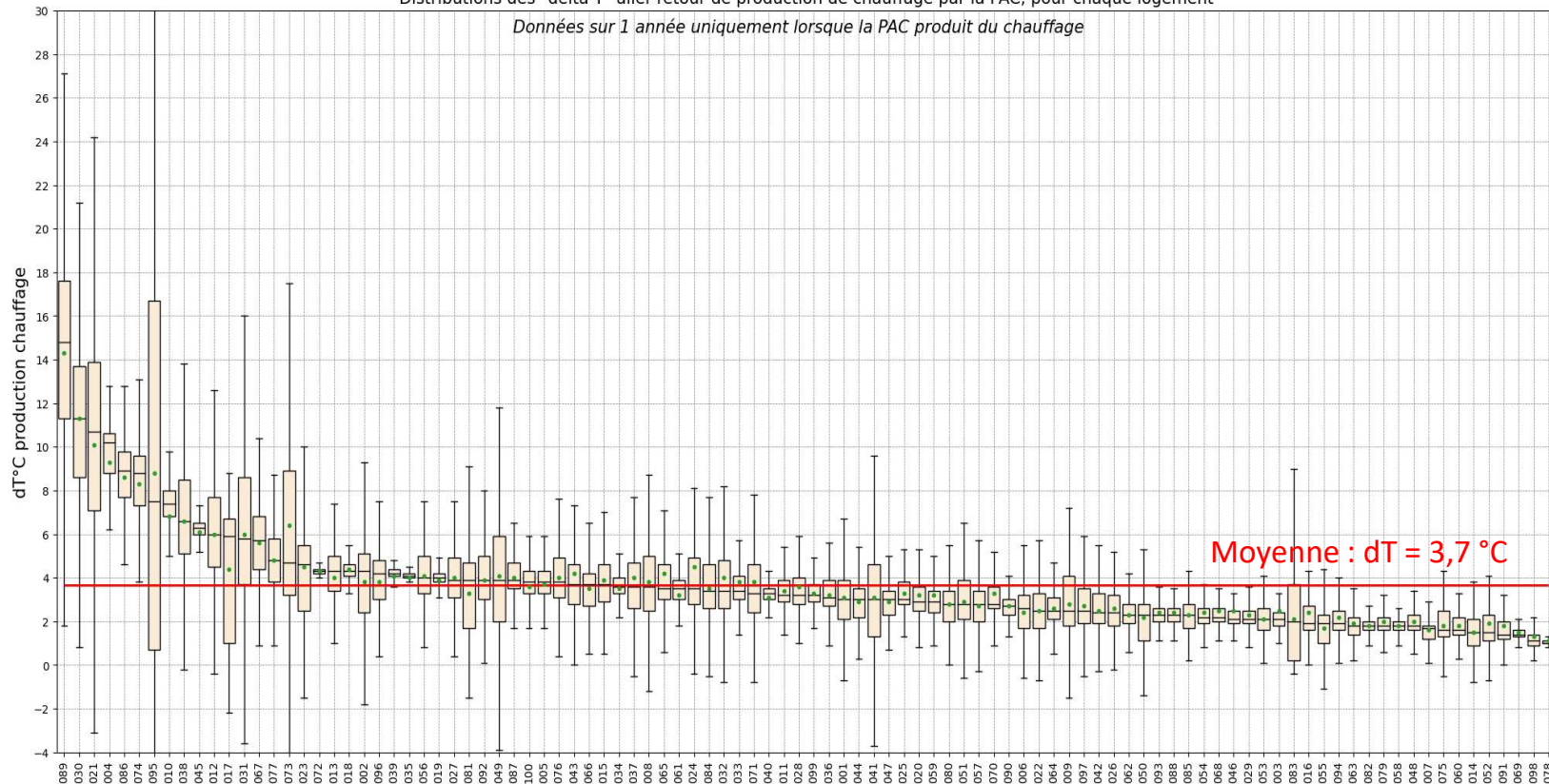
- Planchers seuls : 25,5 à 34,5°C, moyenne 29,4°C
- Mixte planchers / radiateurs : 32,1 à 48,1°C, moyenne 38,9°C
- Radiateurs seuls : 28,9 à 53,4°C, moyenne 39,9°C
- PAC haute température installée sur des réseaux moyen température : 35°C à 52°C
- $dt_{\text{départ - retour moyen}} : 3,7K$

mesures : dt départ – retour CH

CHAUFFAGE

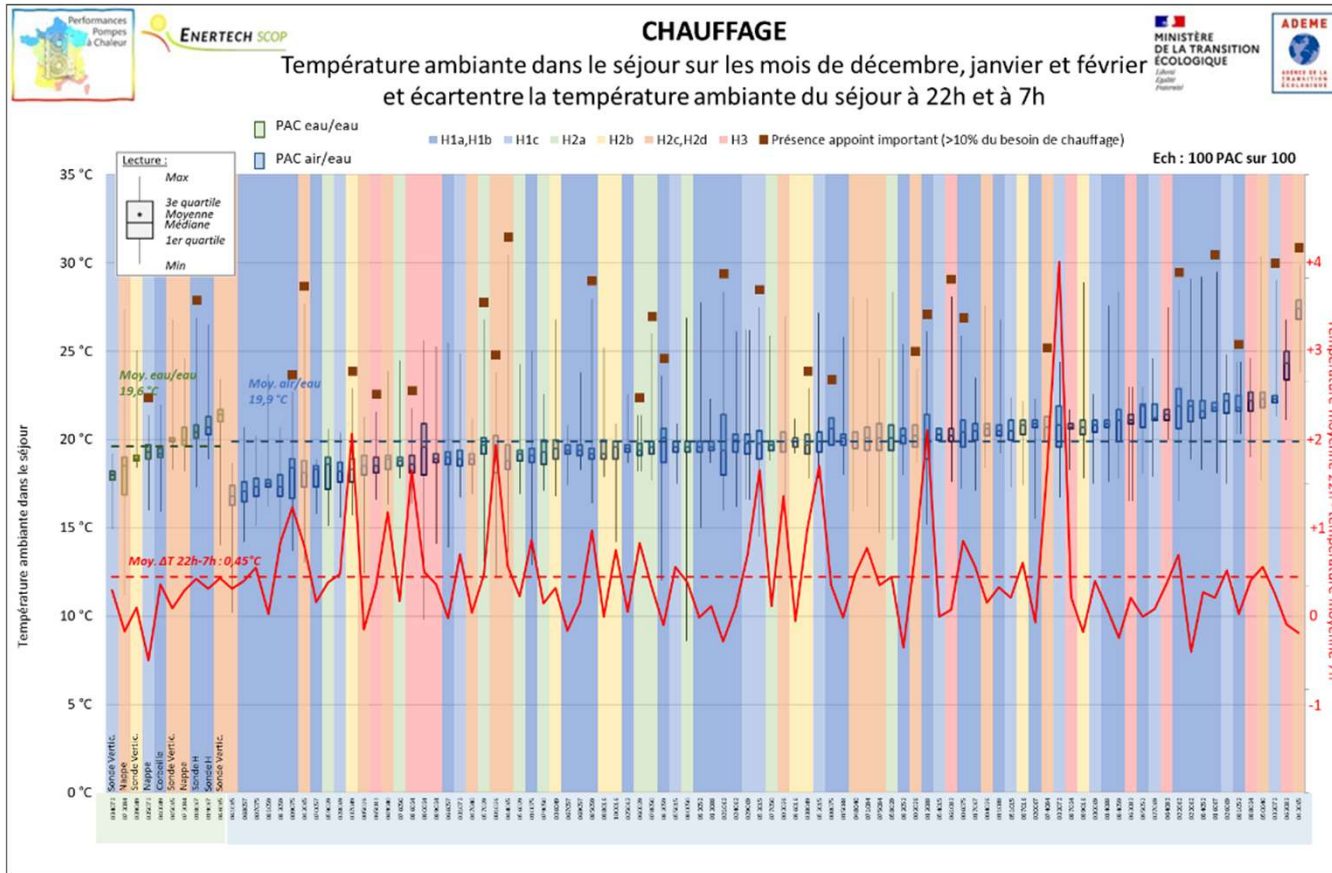
Distributions des "delta T" aller-retour de production de chauffage par la PAC, pour chaque logement

Données sur 1 année uniquement lorsque la PAC produit du chauffage



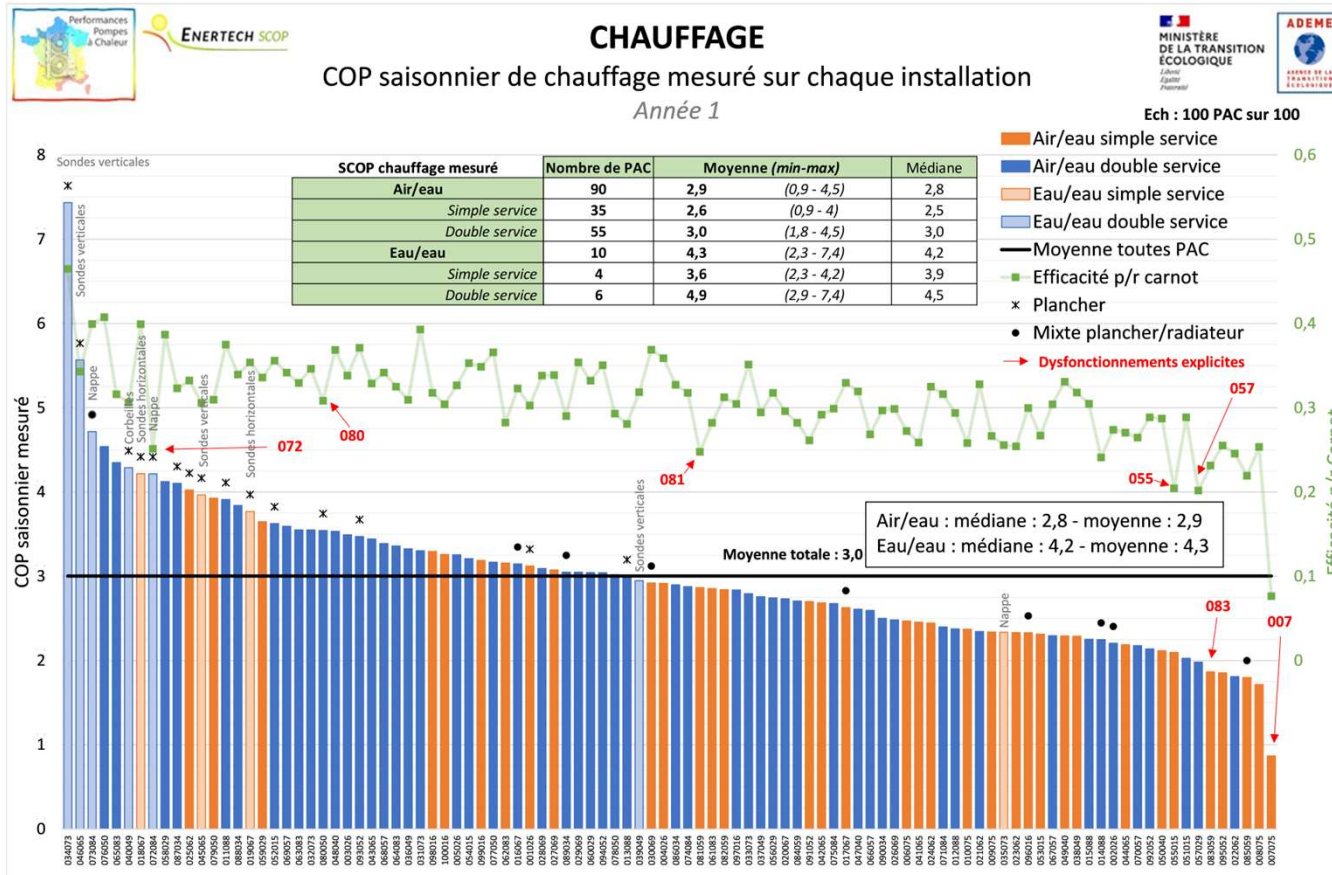
- Moyenne faible, < à 5K : 3,7K
- Valeurs attendues entre 5 et 10K
- Conso. Circulateurs chauffage à la hausse et gêne de bruit hydraulique

mesures : température ambiante



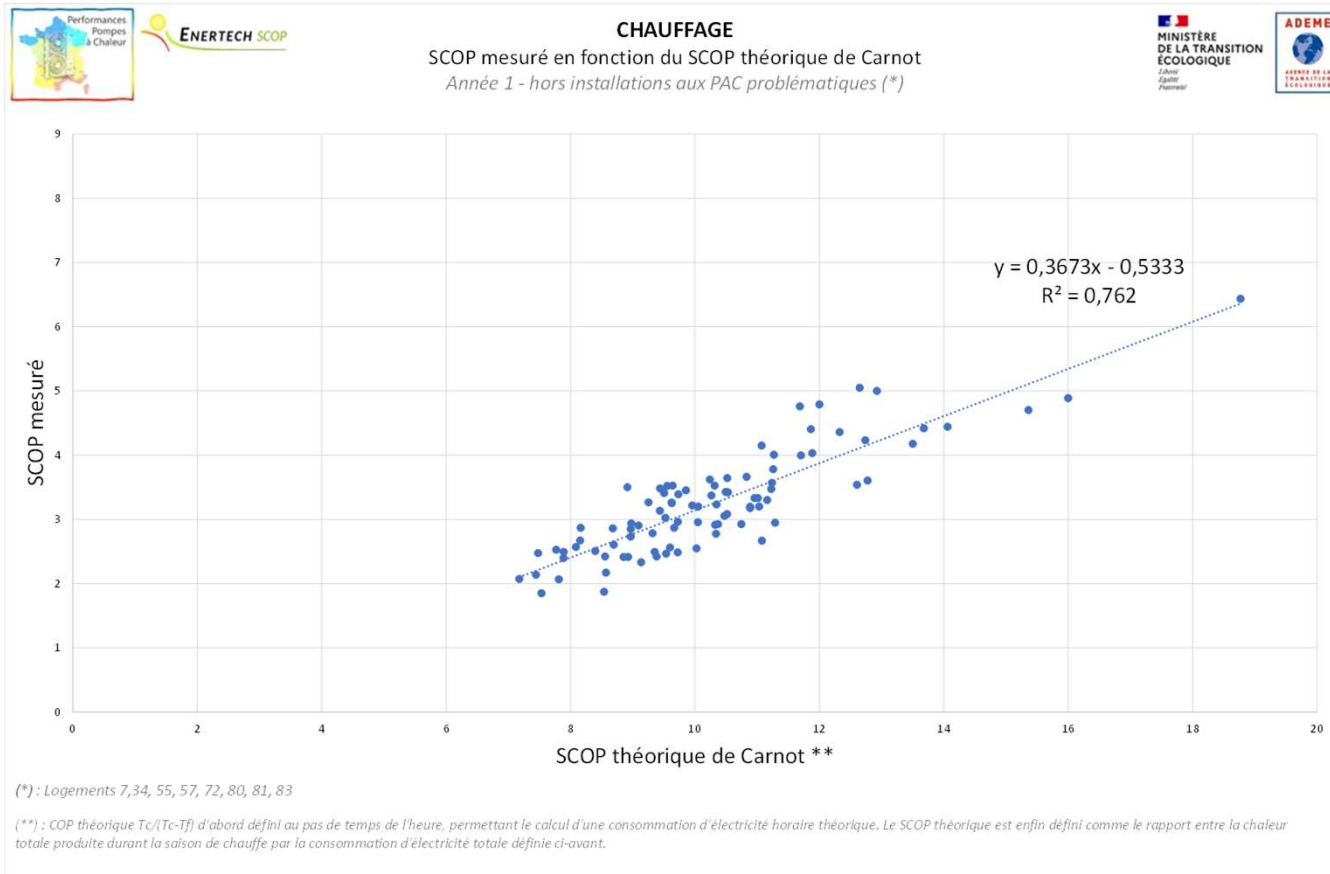
- Sans effet de rebond en installation PAC, température ambiante moyenne : 19,9°C
- Différence importante : 16,8°C, logement peu occupé et 27,4°C, logement avec insert bois
- 23 logements comportent un réduit nuit en moyenne de 0,8K les autres 73 sans réduits nuits maintient la température à 0,3 K prêt

Enseignements : COP saisonnier chauffage ou SCOP_{mesuré}



- **007075** : PAC en panne, en manque de fluide frigorigène
- **083059** : Problème de câblage du thermostat
- **057029** ; **055015** et **081059** : Cyclage très excessif. A noter qu'il s'agit de PAC dont le reste à charge était de 1€.
- **080050** : Consommation excessive des circulateurs pendant la production de chauffage.
- **072084** : PAC sur nappe avec une pompe de surface très énergivore, d'une puissance électrique de 560 W.

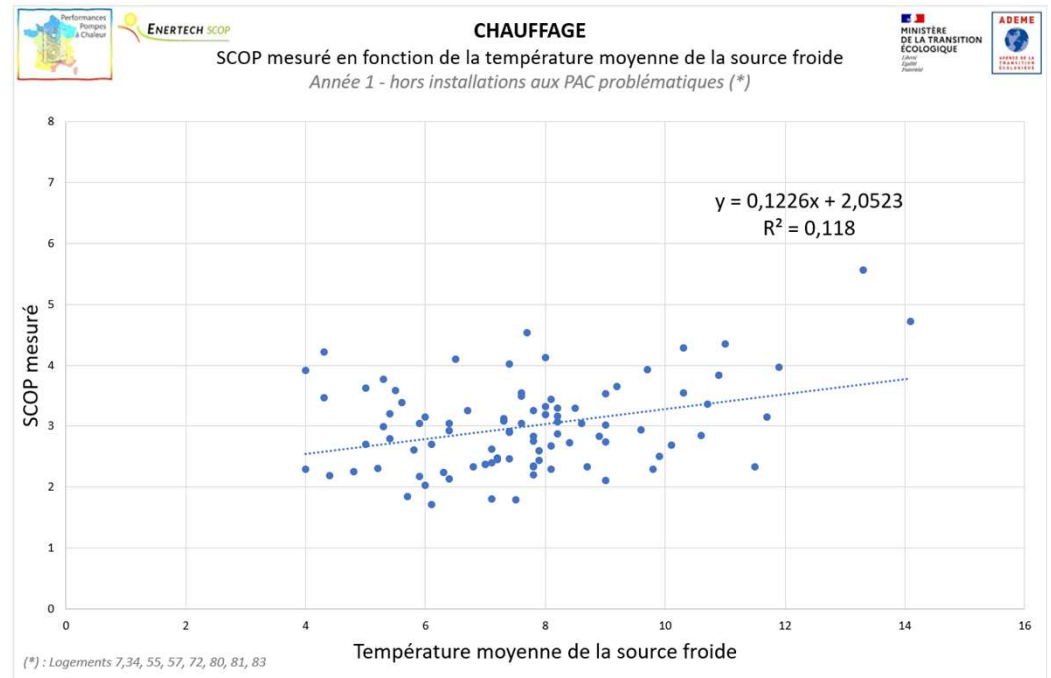
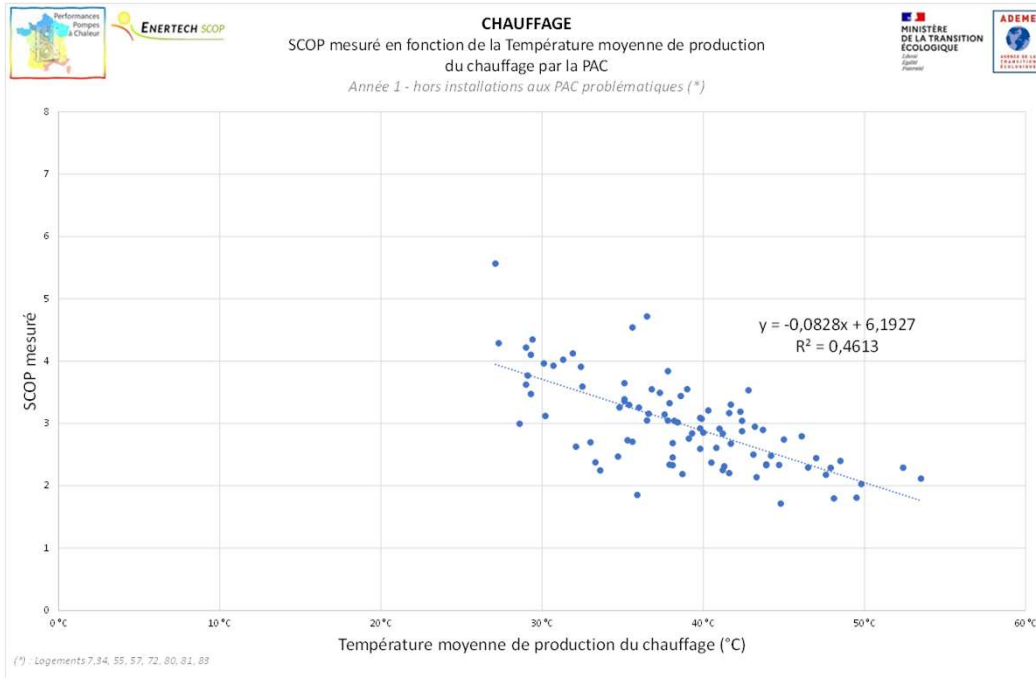
Enseignements : corrélation SCOP_{mesuré} versus le SCOP_{Carnot}



- Bonne corrélation entre SCOP_{Carnot} et SCOP_{mesuré} ($R^2 : 0,76$) même avec la prise en compte de tous les consommateurs électriques raccordés à la PAC
- SCOP_{mesuré} augmente et l'efficacité cycle Carnot augmente, voir transparent ci-avant

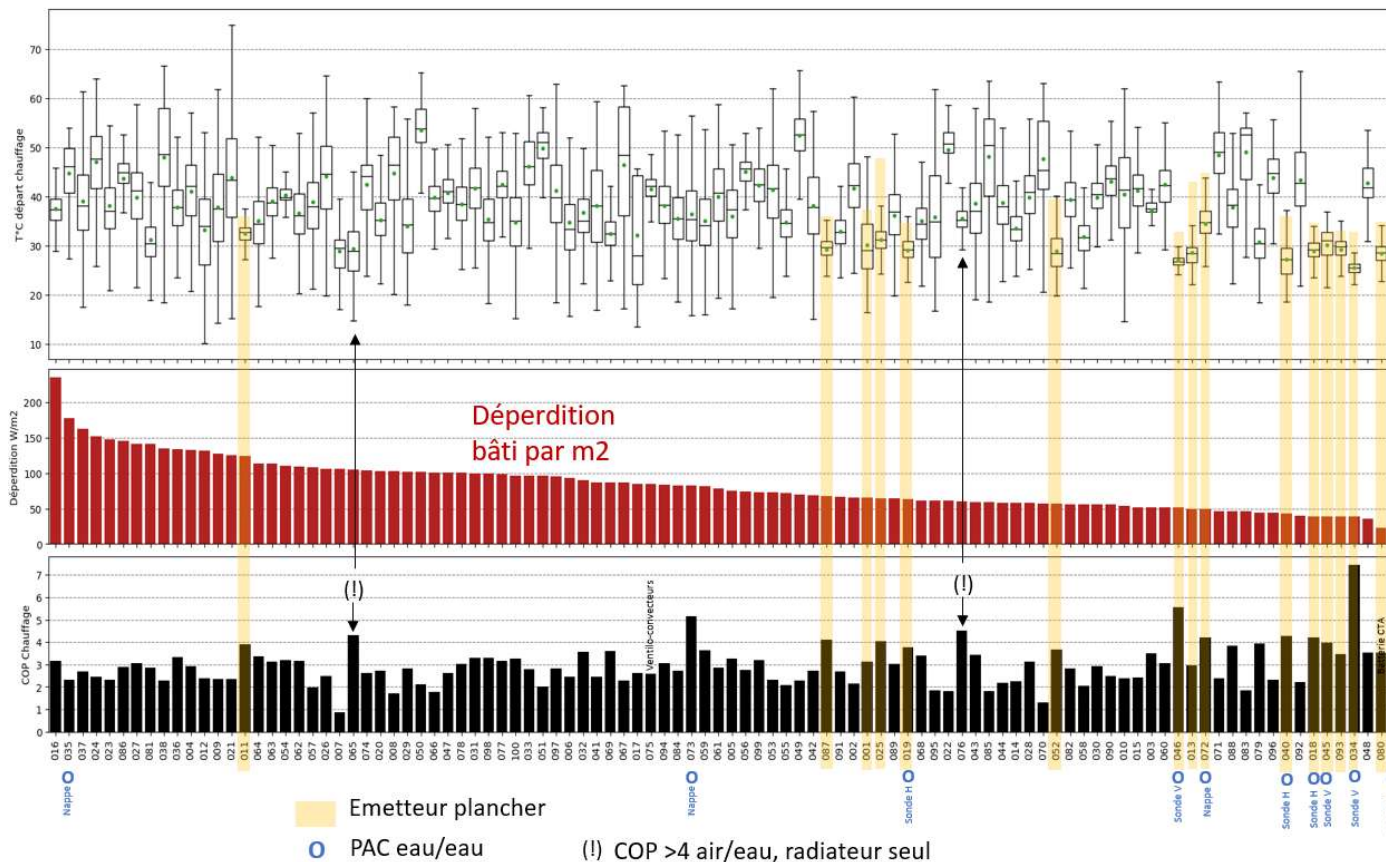
Enseignements : sensibilité

SCOP_{mesuré} vs températures ext./départ CH



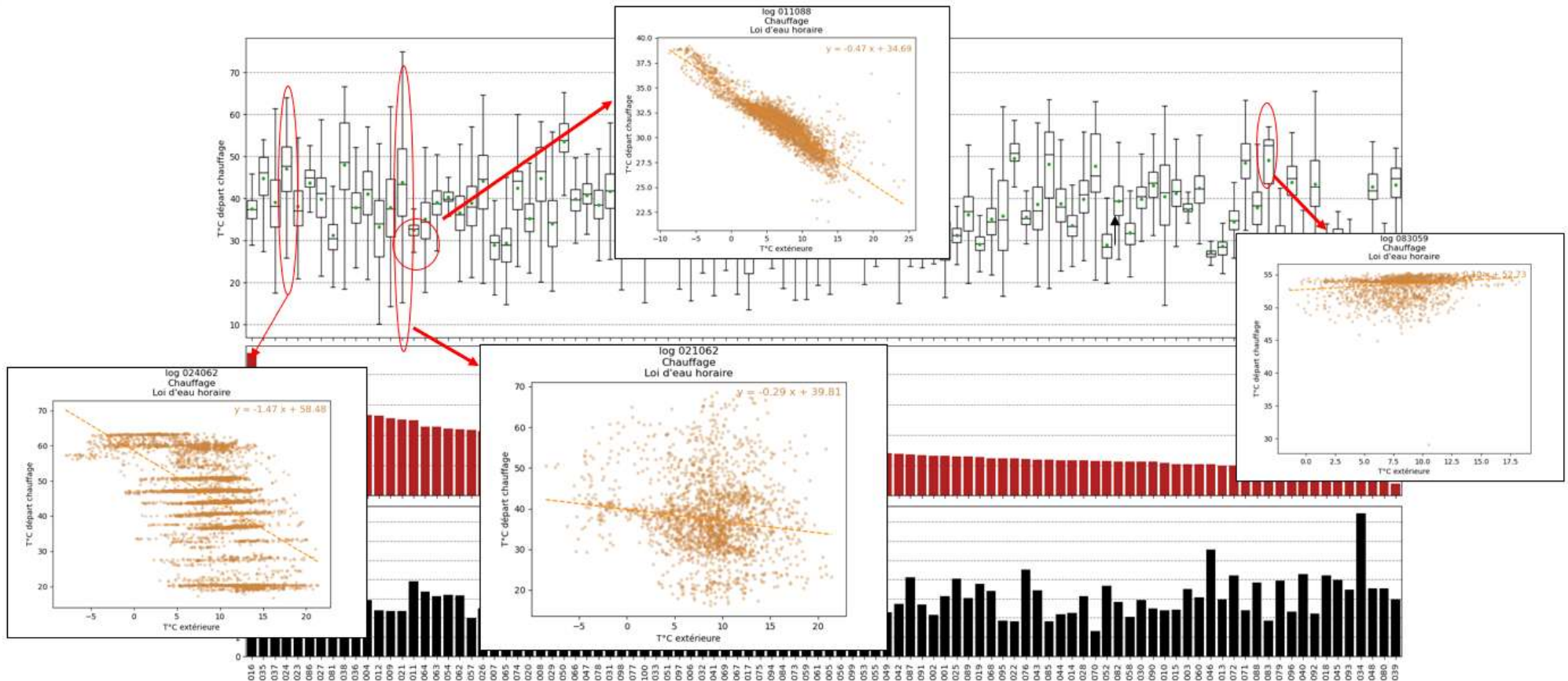
- Sensibilité plus forte à la température du départ chauffage, prévu par la loi d'eau, que par rapport la température de la source froide subit, R^2 : 0,461 vs 0,118

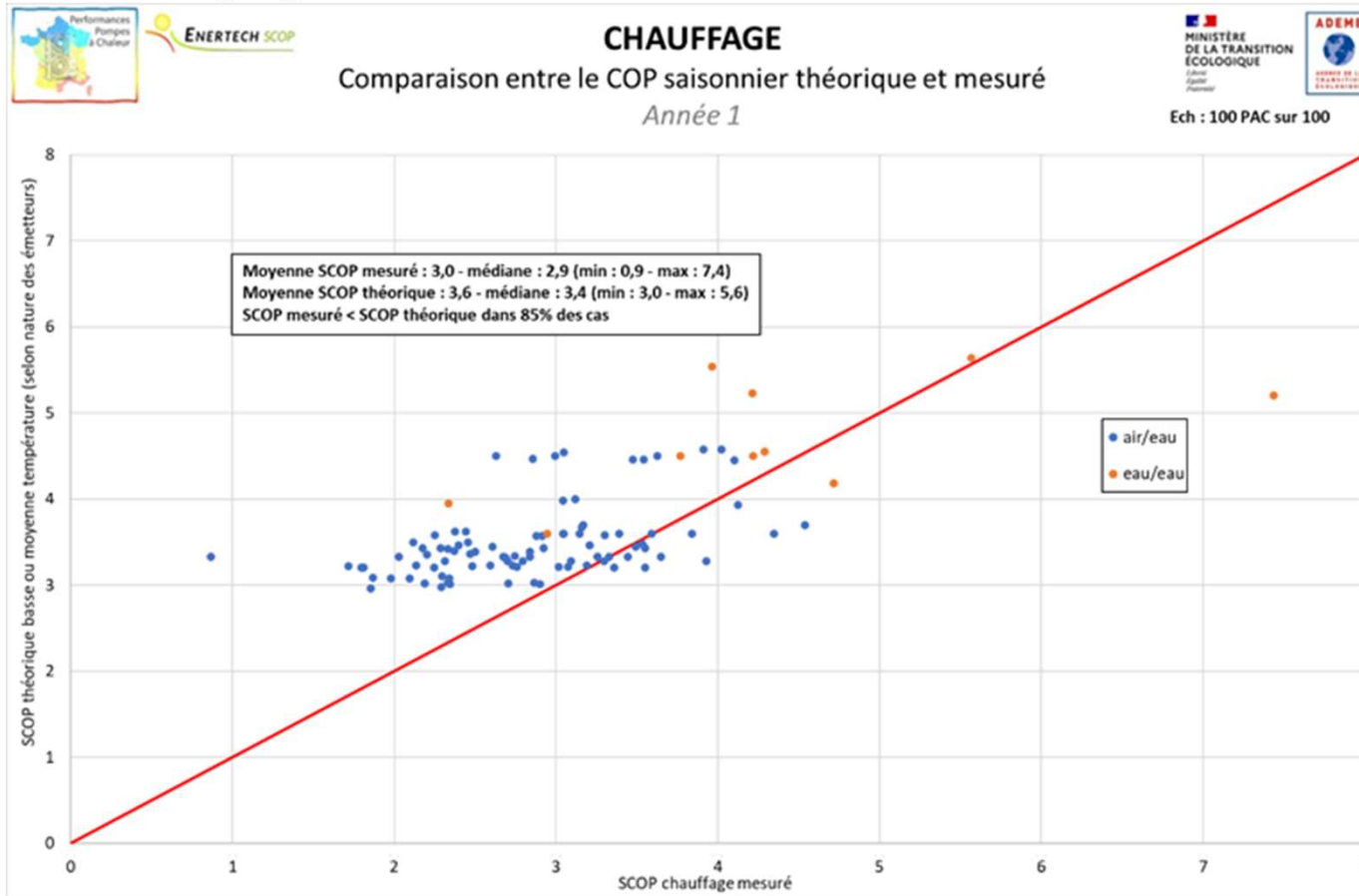
Enseignements : sensibilité SCOP_{mesuré} versus températures CH/déper.



- Température du départ chauffage très variable
- Sans corrélation entre la température du départ chauffage et les déperditions des logements :
 - SCOP en PAC RO supérieure à 3 voire 4, si radiateurs et avec des déperditions supérieures à 100W par m^2 et une température de chauffage moyenne annuelle basse

Enseignements : sensibilité SCOP_{mesuré} versus températures CH/déper.

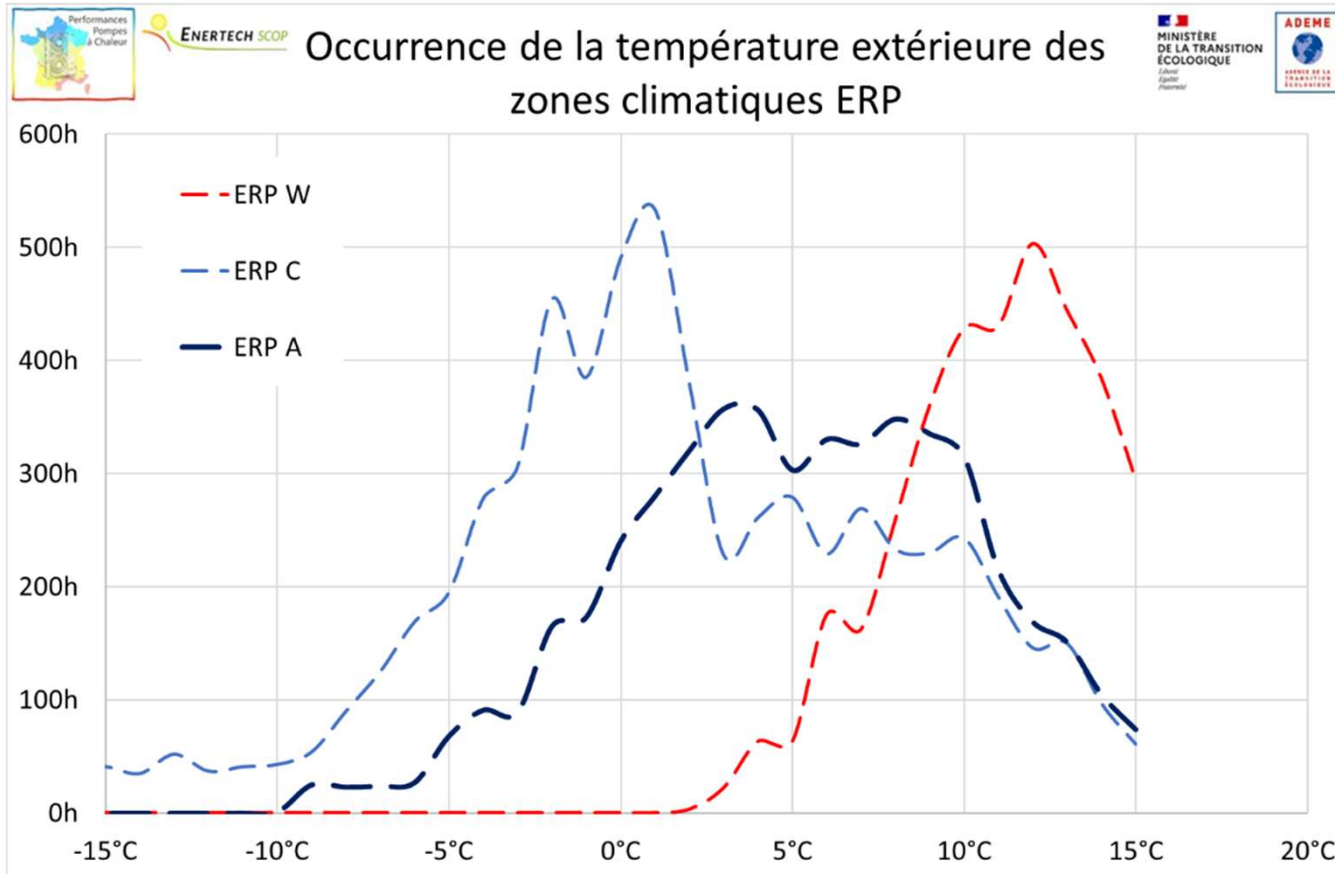




Enseignements : SCOP_{ERP} versus SCOP_{mesuré}

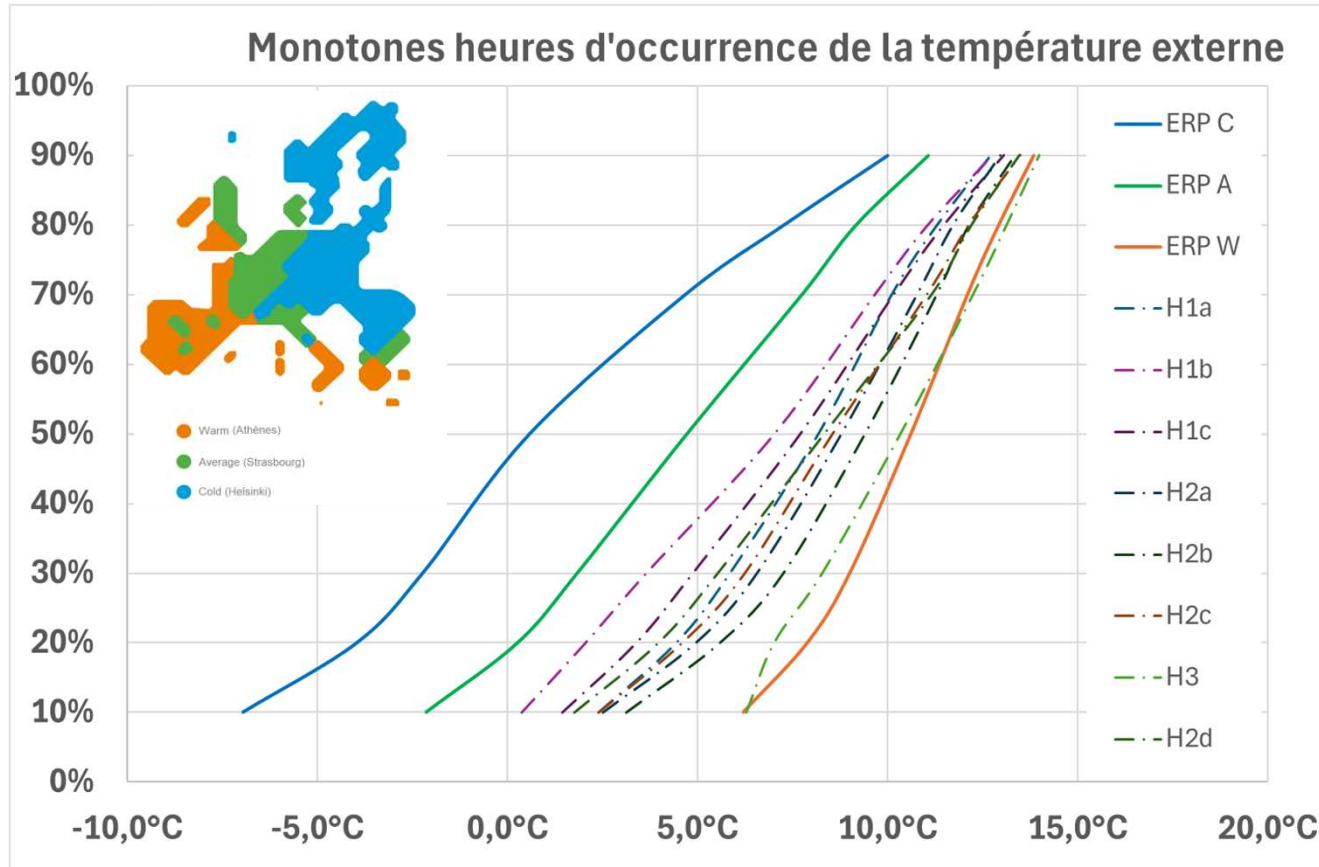
- 85% des SCOP_{ERP}, soit la performance déclarée suivant la réglementation européenne en classe climat A, sont au-dessus des SCOP_{mesurés}
- L'adaptation du SCOP_{ERP} au climat français plus douce augmente cette différence de 0,4 à 0,8 points de SCOP :
 - 100% des points passent au-dessus du SCOP_{mesurée}
 - ERP : les facteurs de cyclage et dégradation, les veilles et les auxiliaires ne sont pas simulés à leur juste valeur !
 - Création d'un facteur de dégradation pour la mise en œuvre ?

Enseignements : SCOP_{ERP} versus climat EU / FR



- Le SCOP communiqué en FR se base sur les essais en classe climat A :
 - 4910h entre -10°C et +15°C
 - Cumul des heures de la température extérieures :
 - 10% atteint à -2,1°C
 - 30% atteint à 1,8°C
 - 50% atteint à 4,7°C
 - 80% atteint à 9,1°C
 - 90% atteint à 11°C
- ERP W : 3590h, 2°C – 15°C
- ERP C : 6446h, -20°C – 15°C

Enseignements : SCOP_{ERP} versus climat EU / FR



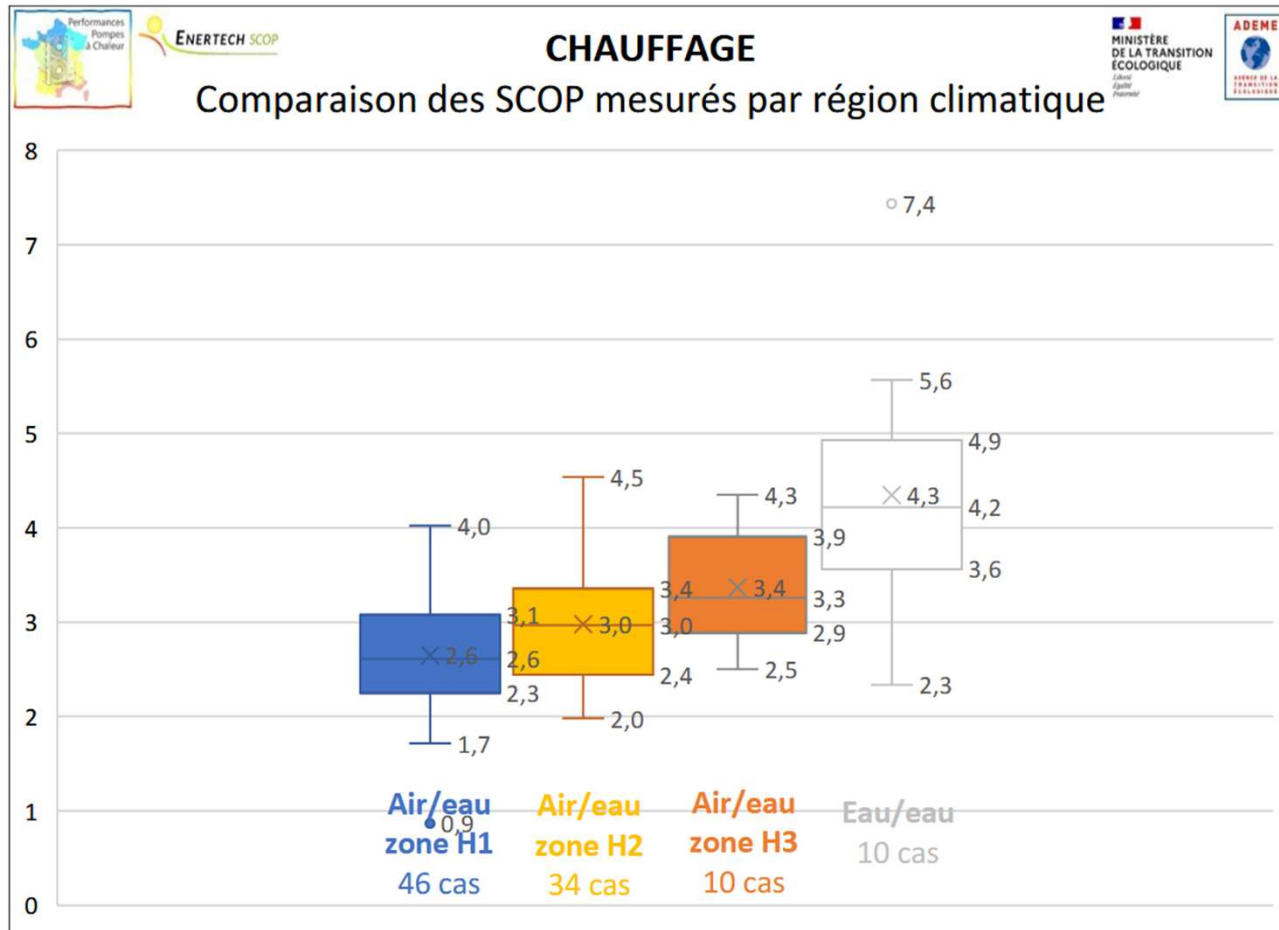
- Le climat français se trouve entre l'ERP A et W, voir H3 = ERP W
- Soit le SCOP_{ERP FR} à déclaré sera encore plus élevé !
- Exemple en logement 87 département 34 / H3 :

• SCOP_{mesuré} : 4,35 / 35°C vs

SCOP_{ERP} : W – 5,34 / A – 4,57

	<i>t base</i>	<i>t départ</i>	
		35,0°C	55,0°C
SCOP ERP C	-20,0°C	3,87	2,85
SCOP ERP A	-10,0°C	4,57	3,27
SCOP ERP W	2,0°C	5,34	4,02

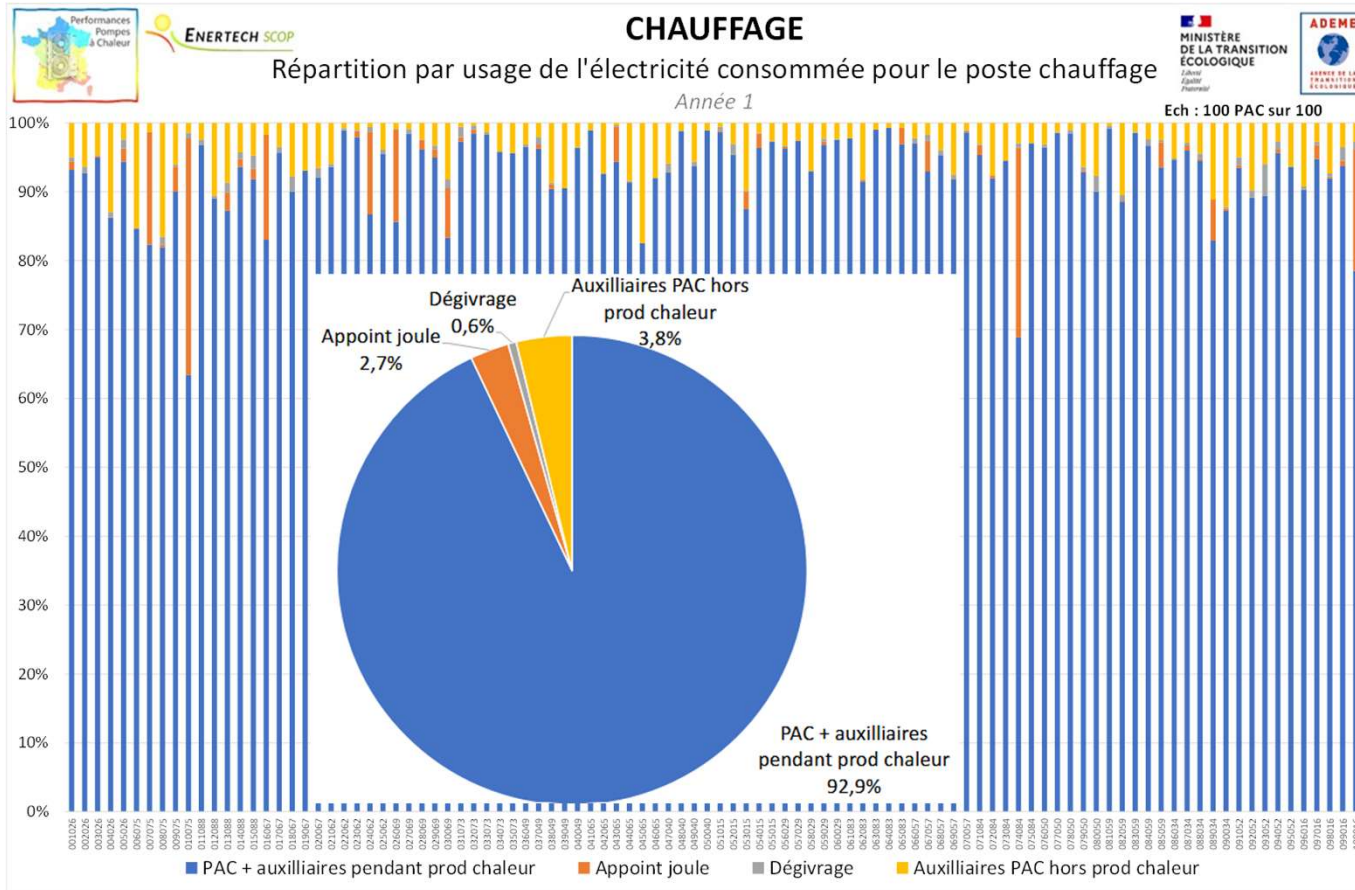
Enseignements : SCOP_{ERP} versus climat EU / FR



- SCOP_{mesuré} en France :
 - H1 versus H2 : 0,4 points de SCOP
 - H1 versus H3 : 0,8 points de SCOP
- SCOP_{ERP} A versus SCOP_{ERP} W : 0,8
- Si prise en charge de la vraie météo des régions climatique de France la différence entre SCOP déclarée de l'ERP augmente significativement !
- Une meilleure prise en charge des facteurs de dégradation est nécessaire : cyclage, veilles et conso auxiliaires !

Enseignements : **SCOP_{ERP} versus SCOP_{mesuré}**

- La loi d'eau est différente :
 - La température de base du climat ERP A est plus basse que les mesures
 - La température de non-chauffe de 16°C, ERP, ne correspond pas aux logements anciens
 - La température conventionnelle du départ ne correspond pas à la réalité du terrain
 - La loi d'eau sur le terrain est rarement respectée !
- Le climat A de la norme européenne ne correspond pas au climat français plus doux. Soit la différence entre le SCOP_{ERP FR} et le SCOP_{mesuré} augmente.
- Les essais de la norme EN 14825, ERP, en charge partielle sont réalisés en essais stabilisée versus la réalité qui est instationnaire.
- Les coefficients de dégradation ou cyclage, Cd, de l'EN 14825 sont fortement sous estimés en charge partielle C et D versus la réalité du terrain !
- Les consommations de veilles et circulateurs ont un poids sur le SCOP bien plus importantes !



Enseignements : consommation chauffage

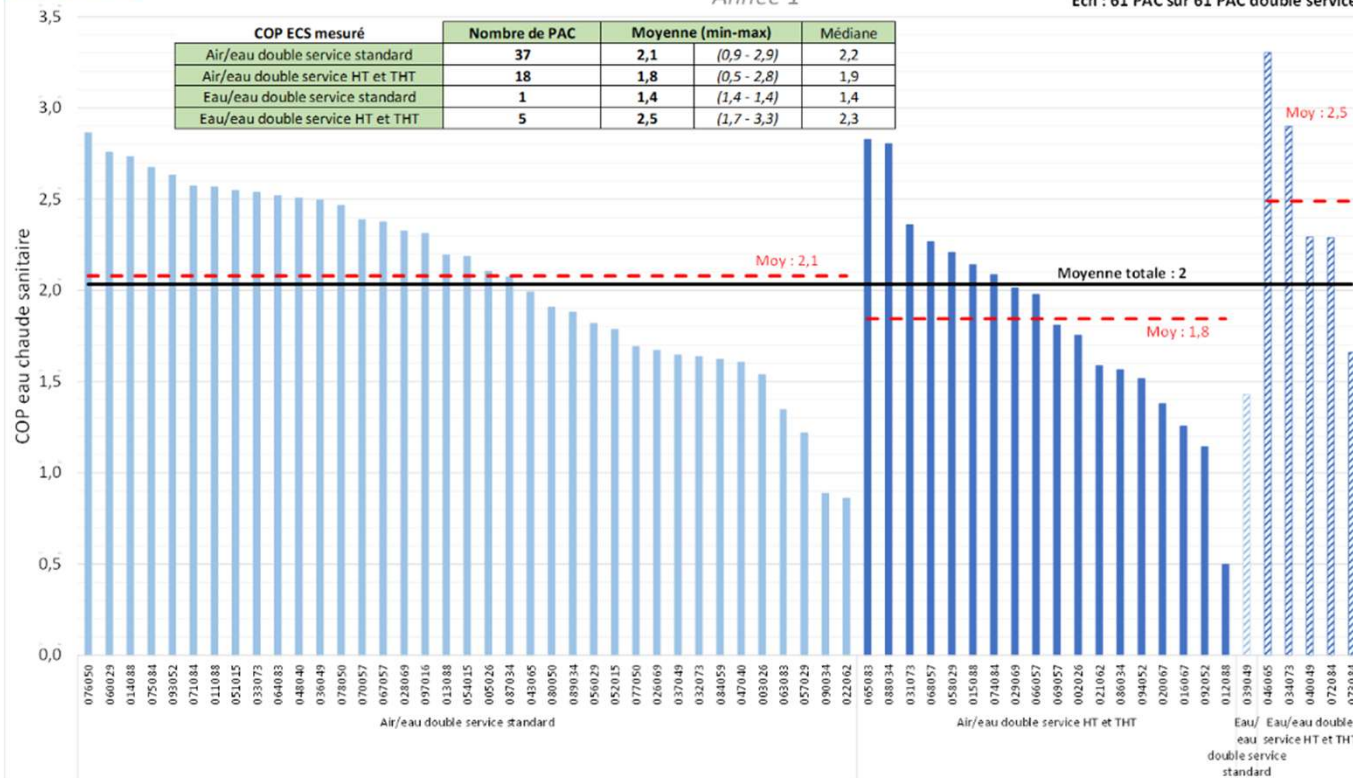
- Inférieure à 5% : résistances d'appoint, du dégivrage et auxiliaires hors production de chaleur, soit 42 logements
- Entre 5 à 10% : circulateurs et veilles surtout hors production chaleur, soit 37 logements
- Supérieure à 10% : avec quelques consommations importantes de l'appoint chauffage, soit 20 logements

EAU CHAUDE SANITAIRE

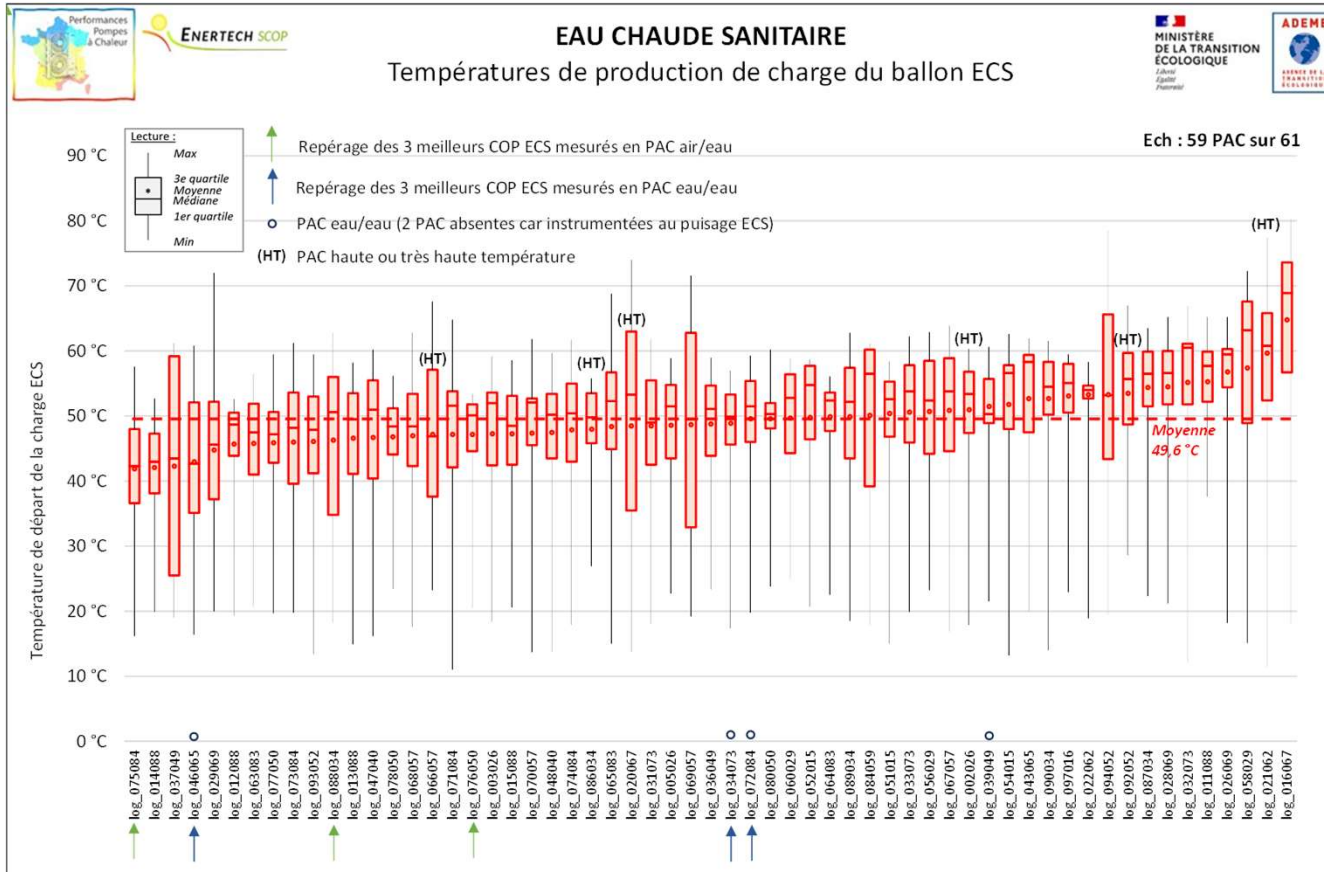
COP eau chaude sanitaire mesuré

Année 1

Ech : 61 PAC sur 61 PAC double service



- SCOP ECS décevant : 46% inférieure à 2; soit moins performant que les chauffe eau individuelles
- SCOP ECS :
 - air-eau std : 2,1
 - air-eau HT : 1,8 (régions plus froides)
 - Eau-eau : 2,5



Enseignements : température primaire ECS

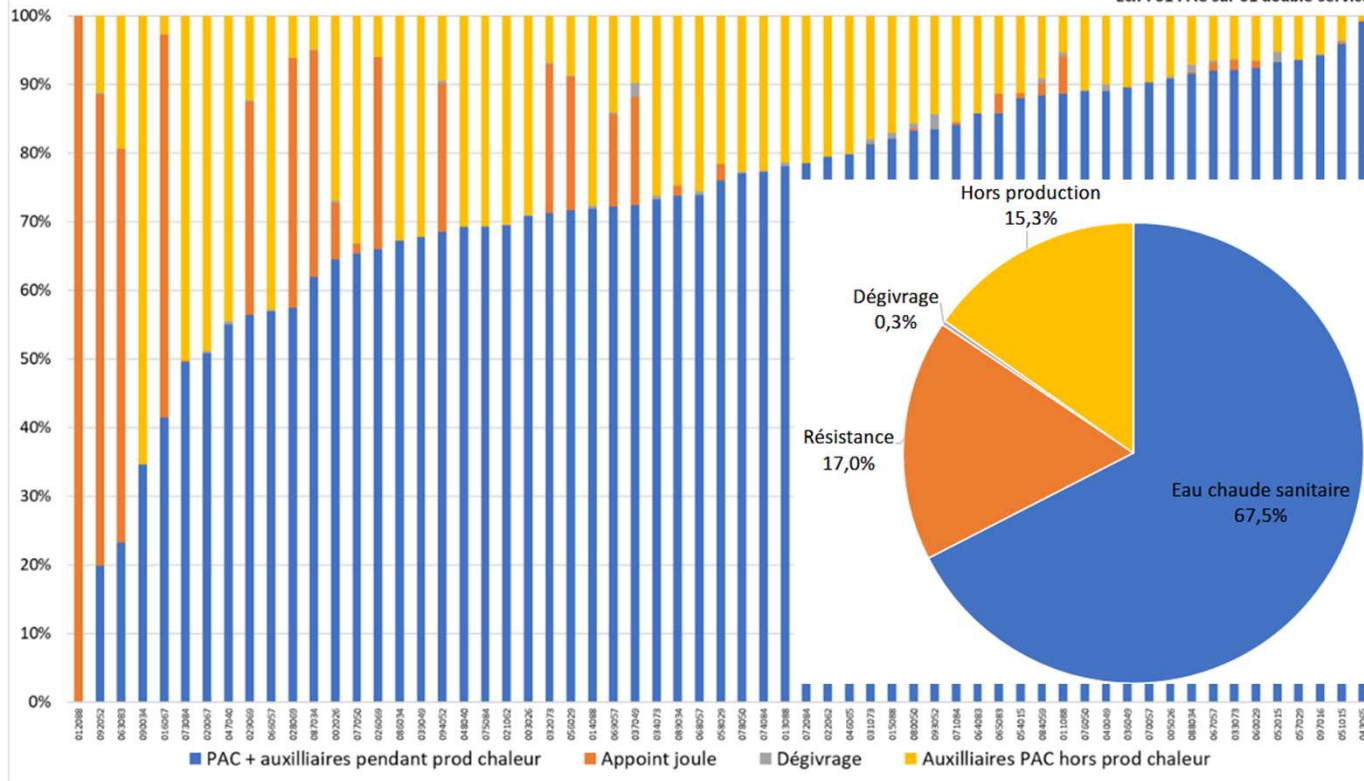
- Départ primaire moyen vers le ballon : 49,6°C
- Températures de fin de charge : 62,3°C à 80,2°C !
- La taille du ballon, 200litres en moyenne, peut être réduit à 100 ou 150litres pour deux personnes
- Les PAC HT ne sortent pas du lot en température et en SCOP ECS !

EAU CHAUDE SANITAIRE

Répartition par usage de l'électricité consommée pour le poste ECS

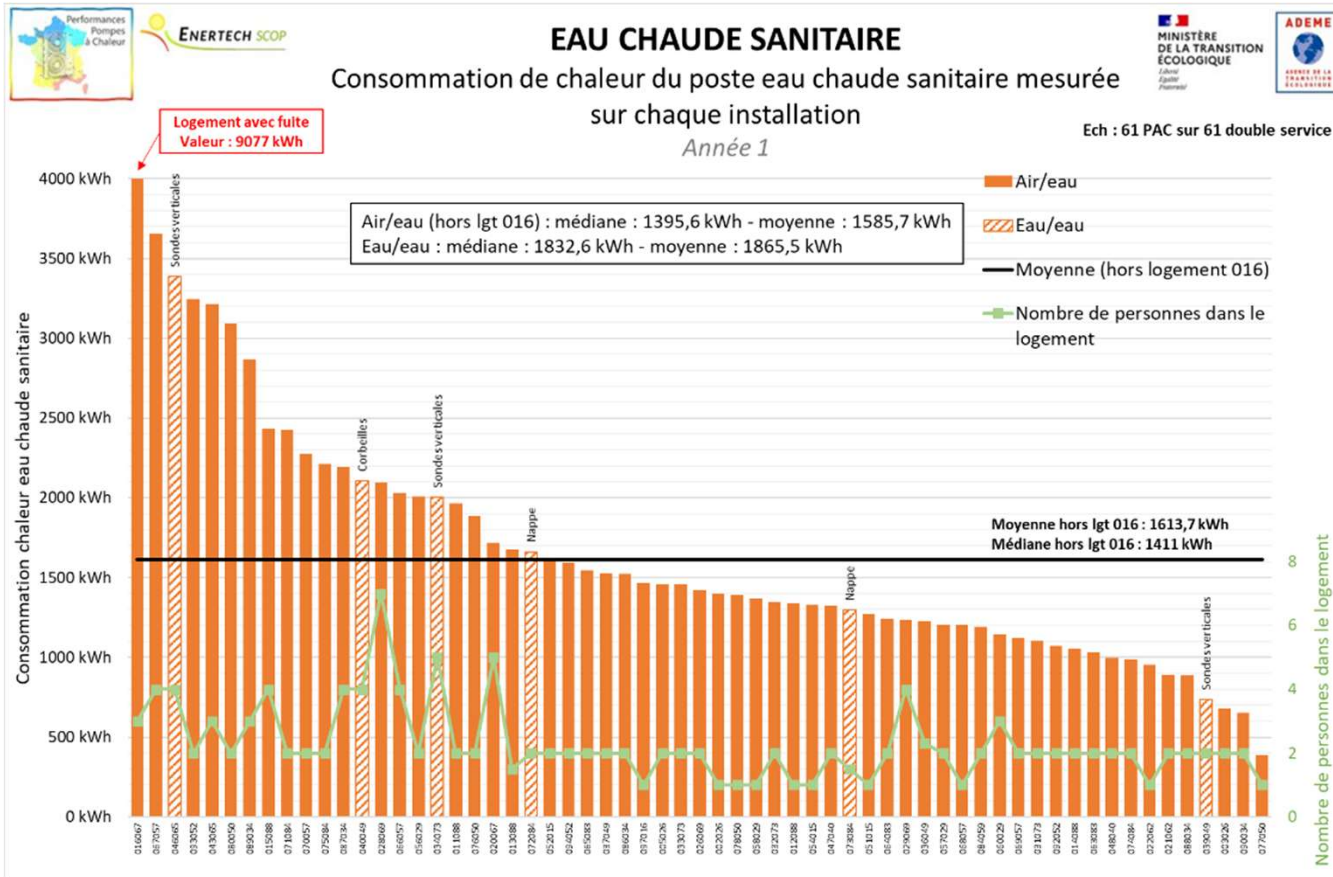
Année 1

Ech : 61 PAC sur 61 double service



Enseignements : consommation électrique ECS

- 17%, part des résistances en moyenne, mais très hétérogène avec de lourd dysfonctionnement
- 15,3%, part auxiliaire PAC hors production (été)
- 0,3%, part du dégivrage

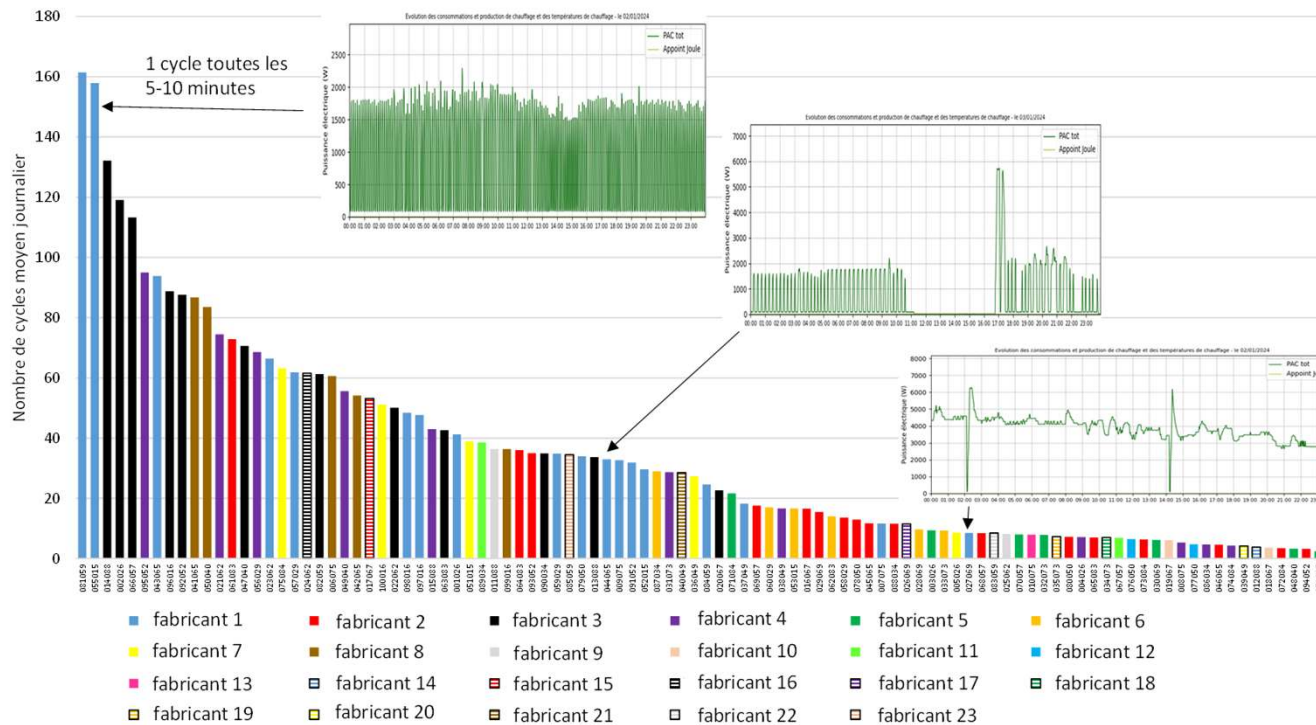


Enseignements : besoin thermique ECS

- Le besoin thermique moyen en ECS des logements s'élève à 1614kWh/an ou environ 800kWh/an et personne !
- La dispersion est très importante : 1 à 8 (possibilité de travailler en semi-accumulée programmé : forte puissance chauffage sur petit ballon ECS)
- En moyenne 15% du besoin de chaleur total est nécessaire pour l'ECS.

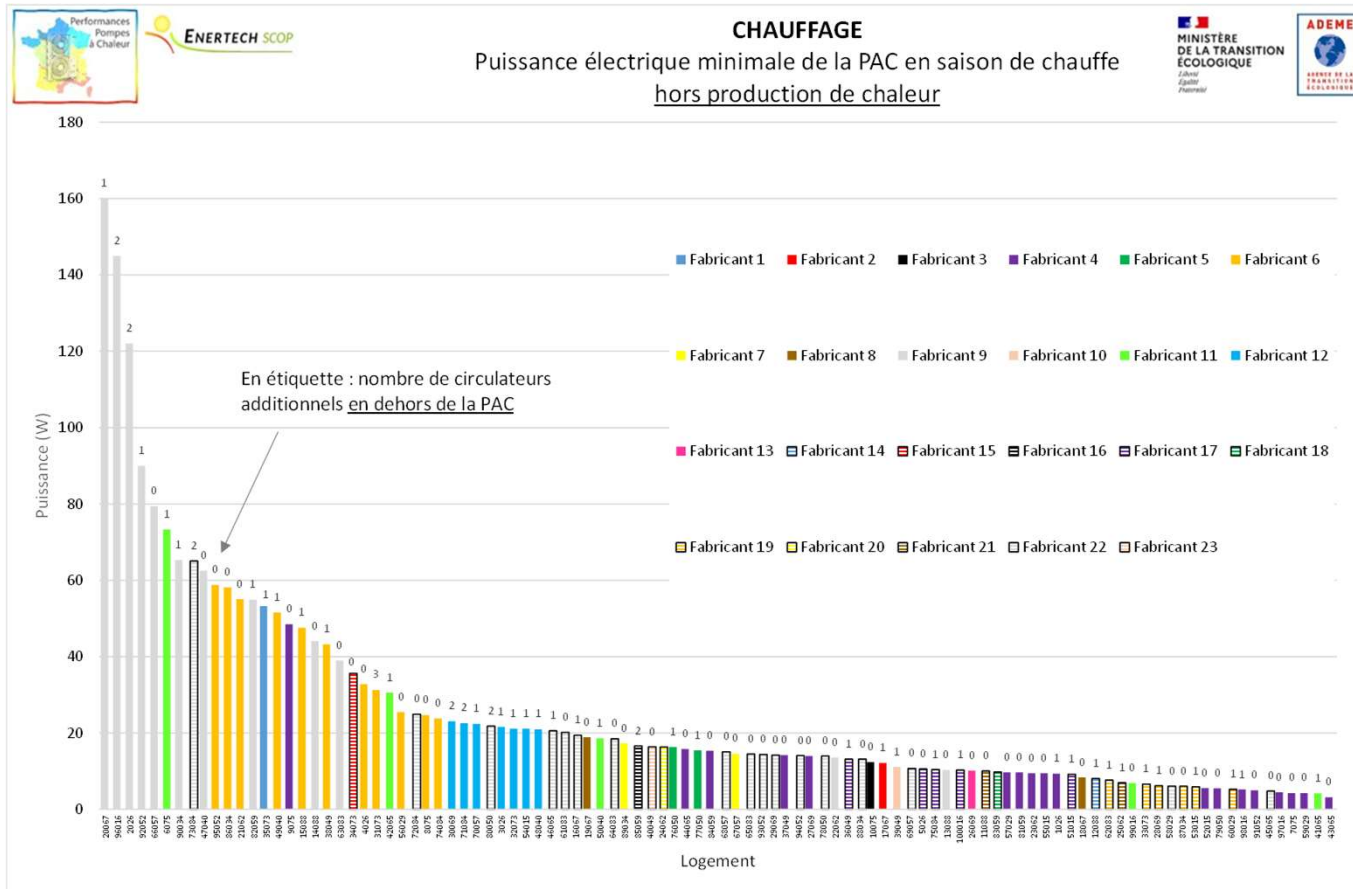
CHAUFFAGE

Nombre de cycles moyens journaliers de fonctionnement de la PAC en saison de chauffe, en fonction du fabricant.



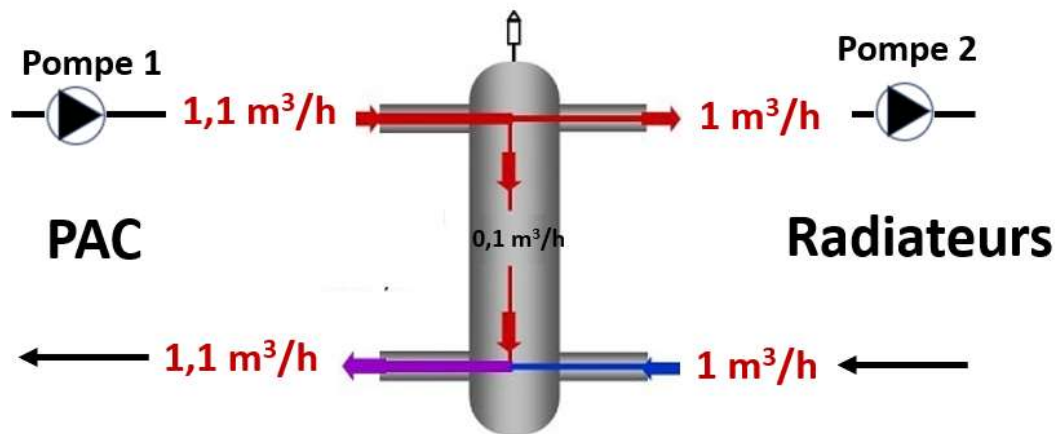
- 24 cycles en moyenne par jour :
 - Régulation sur seuil de la température ambiante
 - Puissance de modulation trop haut
 - Débit sur bouteille de découplage incohérent
 - Défaut rencontré que sur certains produits industriels

Enseignements : puissance électrique minimale en CH



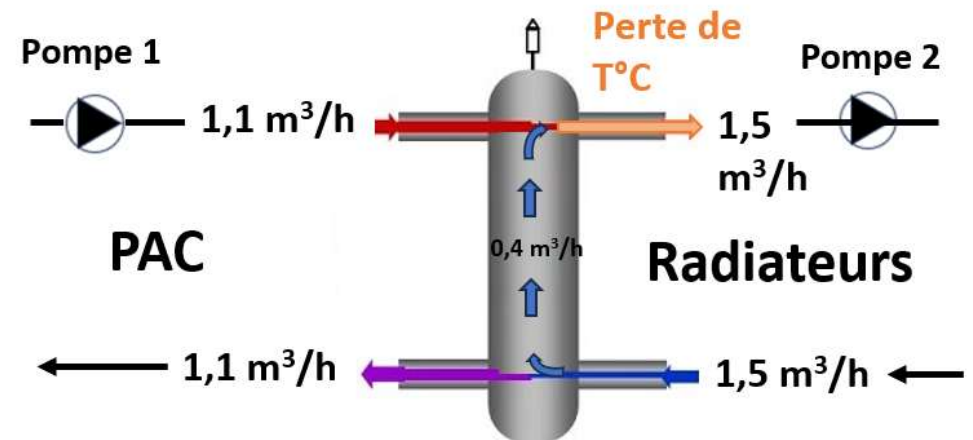
- 25W en moyenne, mais grande disparité :
 - Veilles, résistance carter, cartes électroniques et auxiliaires comme circulateurs hors production de chaleur !
 - MIN : 3,2W
 - MAX : 160W (600kWh/ans avec 4000h)
 - 15 installations ont une puissance supérieure à 50W, soit environ 200kWh/an !
 - PAC simple service en été

Cas idéal : sur-débit
primaire de 10-15% (pas plus !)



Enseignements : bouteille de découplage CH

Cas problématique : sur-
débit secondaire ...



- Les installations chauffage comporte 57 bouteilles de découplage, 16 ballons tampon, une bouteille de découplage + ballon tampon et 26 sans bouteille ni ballon tampon chauffage
- Abaissement du SCOP, si débit secondaire > débit primaire (car augmentation de la température du départ) et consommation des circulateurs et pertes thermiques

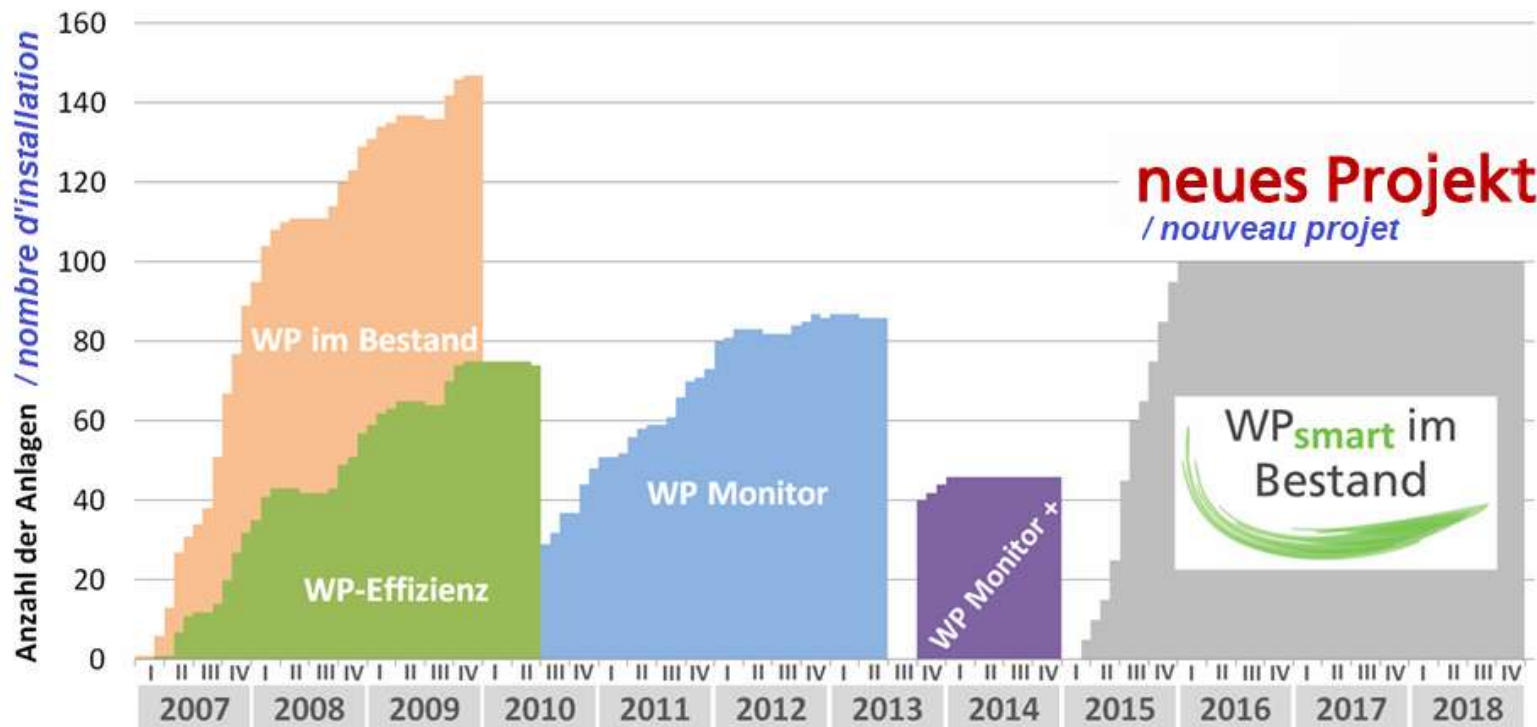
Enseignements : possibilités d'amélioration de l'efficacité

- La loi d'eau :
 - Mieux former les installateurs et contrôler l'installation deux semaines après
 - Correction de la température du départ chauffage sur l'évolution de la température d'ambiance
- Créer un historique de nombre de cycle par jour pour pouvoir ajuster si besoin
- Réduire la puissance des veilles par une réglementation plus stricte et un contrôle du paramétrage par l'installateur à la fin d'installation
- Réduire la consommation des circulateurs par les temporisations plus courtes, leurs nombres et un arrêt simple en été
- Eviter si possible l'installation d'une bouteille de découplage
- Soigner l'installation : isolation de la distribution, sans recyclage d'air externe ...

Enseignements : possibilités d'amélioration de l'efficacité

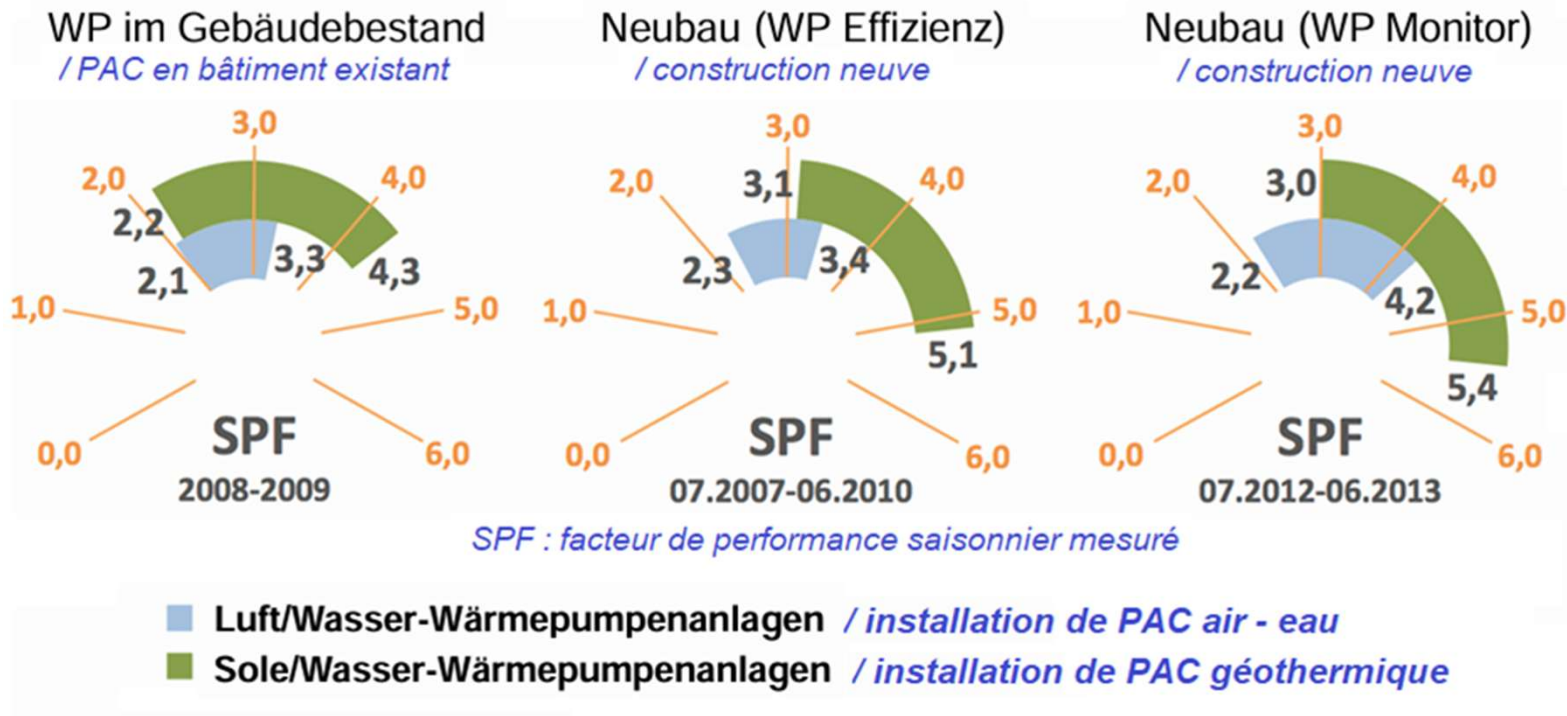
- Contrôle de l'efficacité lors de la maintenance : nbres cycles, puissances veilles, ajustement de la loi d'eau, proposer l'abaissement de nuit, ...
- Réduire l'utilisation de la résistance d'appoint en base, si ECS et les veilles hors production d'ECS
- Réduire la température de consigne en ECS à 55°C et le volume d'ECS à 100-150L
- Maitrise de la température de charge par des échangeurs surdimensionner en ECS
- Proposer une programmation horaire, préférence en journée, pour l'ECS
- Proposer des écogestes ECS : mousseurs, limiteurs de débits et douchettes économes

Enseignements : projets PAC du Fraunhofer en Allemagne



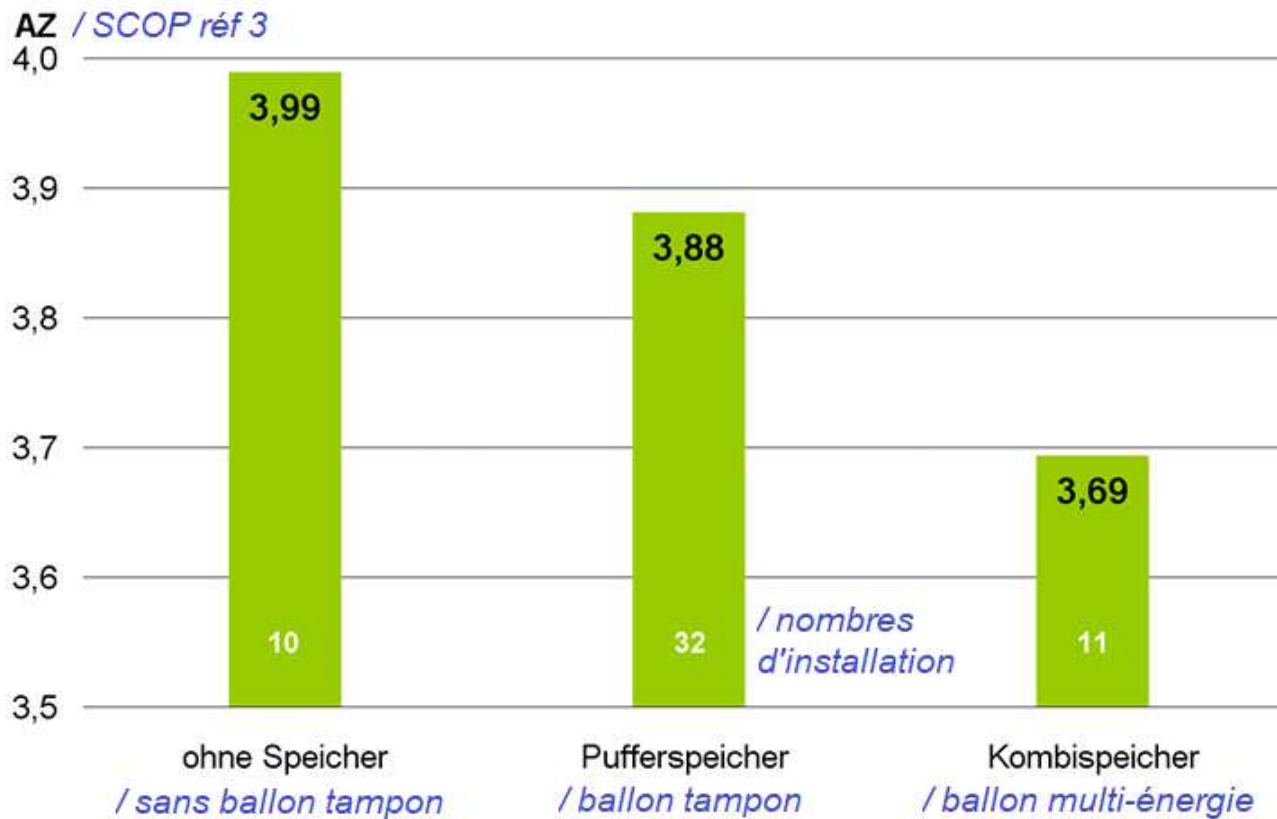
- 300 à 400 PAC air-eau et eau-eau ont été analysées par le Fraunhofer Institut entre 2007 et aujourd'hui
- Les installations comportent des logements anciens comme des maisons neuves équipées des plancher chauffant et des radiateurs.

Enseignements : projets PAC du Fraunhofer en Allemagne



- On constate une différence du SCOP / SPF 3 entre les installations en bâtiments existants, plutôt radiateurs, vers les constructions neuves, plutôt plancher chauffants, en PAC air-eau et PAC géothermiques

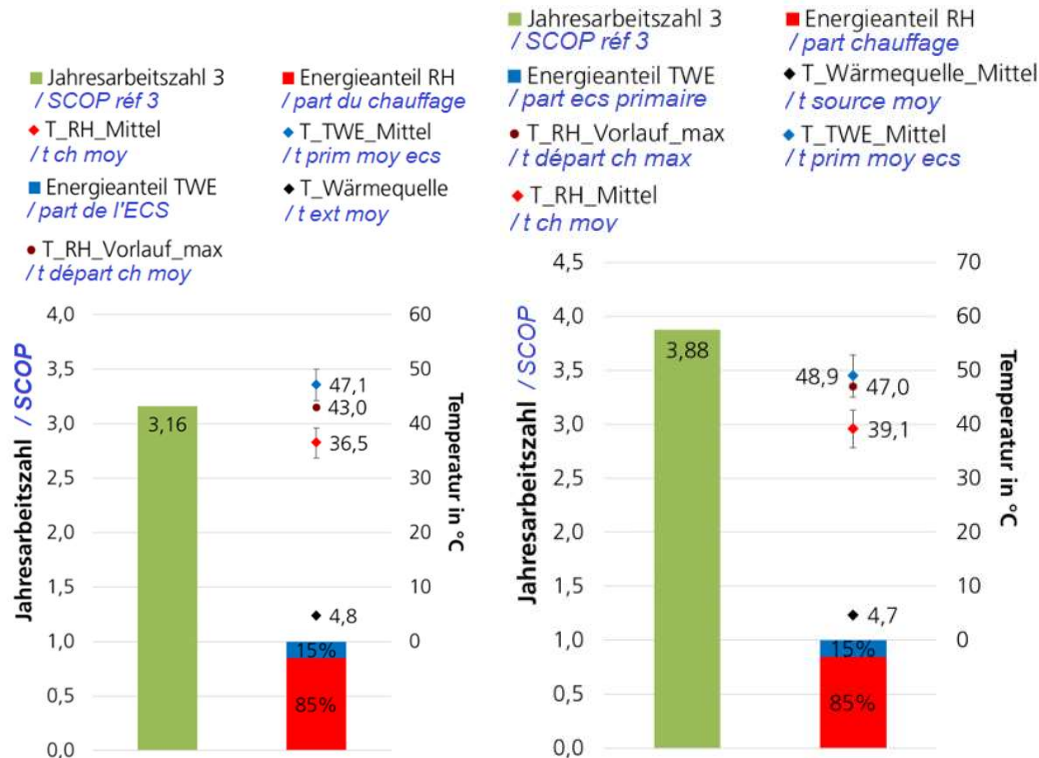
Enseignements : projets PAC du Fraunhofer en Allemagne



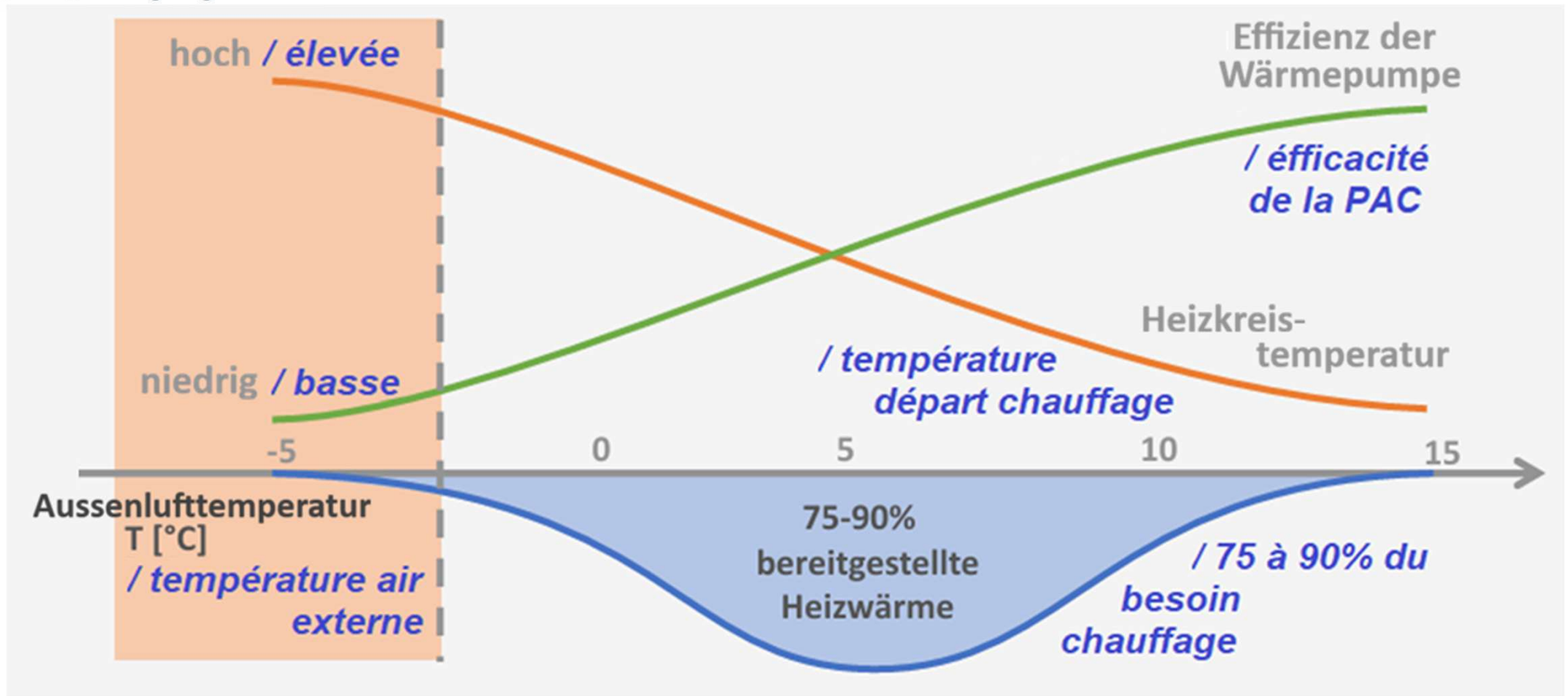
- Perte de SCOP avec des ballons tampon, alliés des PAC ON/OFF géothermiques, si les installations ont des faibles inerties émettrices
- Raisons des pertes :
 - Sur-température de charge
 - Pertes thermiques des parois des ballons, même bien isolées

Enseignements : projets PAC du Fraunhofer en Allemagne

- PAC air-eau : performances comparables, sauf la température externe, soit évaluation du SCOP FR 30% plus bas !
 - COP ECS DE meilleur que FR
 - Cyclage et veille maîtrisé en DE
- PAC géo. : performances mieux en FR :
 - Température source 10,8°C en FR
 - Prépondérance des plancher chauffant en FR : 7 sur 10 versus 3 sur 12 installations en DE



Enseignements : pour un appareil de chauffage performant





Muriel
DUPRET



à vos questions ...



UWE BRAMKAMP
CONSULTANT Génie climatique

21 rue Jean Mermoz
44470 Carquefou
Tél. : 06 10 94 01 66
Email: bramkamp.u@gmail.com

fiche de contact et accès rapport / données

Accès gratuit au rapport sur le site de la
librairie de l'ADEME : <http://bit.ly/4ojV5sa>

Accès gratuit aux données de mesure,
open data sur le site de la librairie de
l'ADEME : <https://lnkd.in/e7npjifg>